Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3711 43324
UBA-FB-00 [trägt die UBA-Bibliothek ein]

Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung klimafreundlicher Technologien ohne halogenierte Stoffe vor dem Hintergrund der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006

von

Barbara Gschrey, Winfried Schwarz, Thomas Kimmel, Bastian Zeiger
Öko-Recherche GmbH, Frankfurt/Main

Wolfram Jörß, Katja Schumacher, Johanna Cludius
Öko-Institut e.V., Berlin

Öko-Recherche GmbH, Münchener Str. 23, 60329 Frankfurt/Main
Öko-Institut e.V., Schicklerstr. 5-7, 10179 Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Juni 2014

Berichtskennblatt

Berichtsnummer	UBA-FB 00
Titel des Berichts	Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung klimafreundlicher Technologien ohne halogenierte Stoffe vor dem Hintergrund der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006
Autor(en) (Name, Vorname)	Gschrey, Barbara; Schwarz, Winfried; Kimmel, Thomas; Zeiger, Bastian; Jörß, Wolfram; Schumacher, Katja; Cludius, Johanna.
Durchführende Institution (Name, Anschrift)	Öko-Recherche GmbH; Öko-Institut e.V.
Fördernde Institution	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau
Abschlussjahr	2014
Forschungskennzahl (FKZ)	3711 43 324
Seitenzahl des Berichts	246
Zusätzliche Angaben	
Schlagwörter	Fluorierte Treibhausgase; F-Gase; F-Gase-Verordnung; Phase down; Mengenbeschränkungen; Steuer; Verbote;

Report Cover Sheet

Report No.	UBA-FB 00
Report Title	Improving the market penetration of non-halogenated climate-friendly technologies in line with the revised Regulation (EC) No. 842/2006
Author(s) (Family Name, First Name)	Gschrey, Barbara; Schwarz, Winfried; Kimmel, Thomas; Zeiger, Bastian; Jörß, Wolfram; Schumacher, Katja; Cludius, Johanna.
Performing Organisation (Name, Address)	Öko-Recherche GmbH; Öko-Institut e.V.
Funding Agency	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau
Report Date (Year)	2014
Project No. (FKZ)	3711 43 324
No. of Pages	246
Supplementary Notes	
Keywords	Fluorinated greenhouse gases; F-gases; F-gas Regulation; phase down; tax; bans;

Kurzbeschreibung

Die Emissionen fluorierter Treibhausgase (HFKW, FKW, SF_6) konnten durch die Verordnung (EG) Nr. 842/2006 stabilisiert werden. Für eine darüber hinaus angestrebte Reduzierung war eine Überarbeitung der Verordnung erforderlich, die in den Jahren 2012 bis 2014 erfolgte. Eine Neufassung wurde im April 2014 verabschiedet (Verordnung (EU) Nr. 517/2014). Dieses Vorhaben hat die Arbeit des Umweltbundesamtes während des Überarbeitungsprozesses unterstützt.

Mittels Literaturauswertung identifizierte Barrieren und Chancen für halogenfreie Stoffe und/oder Technologien in verschiedenen Anwendungen sind in Übersichtstabellen aufgelistet und in ihrer Relevanz bewertet.

Projektionen der HFKW-Nachfrage in Deutschland bis 2030 sind anhand eines Modells dargestellt: Ein Referenzszenario (REF-Szenario) zeigt die Entwicklung von HFKW-Verbrauch und HFKW-Emissionen auf der Basis von Annahmen zu den Auswirkungen der bis 2014 gültigen Gesetzgebung (F-Gase-Verordnung (2006), MAC-Richtlinie, Chemikalien-Klimaschutzverordnung). Ein Szenario des minimalen HFKW-Verbrauchs bzw. der minimalen HFKW-Emissionen (MIN-Szenario) bildet die Umstellung von HFKW auf halogenfreie Alternativen in Deutschland ab.

Weitere Szenarien zeigen mögliche Auswirkungen einzelner Elemente eines Verordnungsentwurfs der Europäischen Kommission für eine neue F-Gase-Verordnung (2012) und der Diskussionen dazu (Stand: Mitte 2013): Erst- und Nachbefüllungsverbote sowie ein Importverbot für vorbefüllte Einrichtungen wurden als Varianten des Referenzszenarios modelliert. EU-Mengenbeschränkungen von HFKW sind in einem neuen Szenario veranschaulicht, dem EU Phase down-Szenario. Ein Steuerszenario illustriert die Einführung von nationalen HFKW-Steuern, sowohl als eigenständige Maßnahme als auch flankierend zum EU Phase down. Darauf aufbauend sind die Maßnahmen in Bezug auf ihre Potenziale zur Vermeidung von HFKW-Nachfrage sowie Grenzkosten und Zusammenwirken mit möglichen weiteren Maßnahmen bewertet.

Abstract

Regulation (EC) No. 842/2006 enabled a stabilization of emissions of fluorinated greenhouse gases (HFCs, PFCs, SF_6). In order to achieve additional emission reductions the Regulation was reviewed in the period 2012-2014. The revised version was adopted in April 2014 (Regulation (EC) Nr. 517/2014). This project supported the work of the German Federal Environment Agency (Umweltbundesamt) during the review process.

The barriers to and benefits of using halogen-free substances and /or technologies in different applications were identified through a literature review. They are summarized in overview tables and their respective relevance is assessed.

Further, projections of the HFC demand in Germany until 2030 are modeled: A reference scenario (REF scenario) shows the development of HFC demand and emissions based on assumptions of impacts of the legislation in effect until 2014 (EU F-gas Regulation (2006), EU MAC Directive, Chemicals Climate Protection Ordinance). A scenario on minimum HFC demand and minimum HFC emissions (MIN scenario) illustrates the effects of a conversion to alternative technologies to HFCs in Germany.

Additional scenarios highlight the potential effects of the certain measures proposed within the European Commission's proposal for a new F-gas Regulation (2012) and the accompanied discussion (as of mid-2013): Bans on first fill and refill as well as a ban on imports of pre-charged equipment were modeled as variations of the REF scenario. Effects of EU restrictions on the HFC supply are provided in the EU phase down scenario. A tax scenario models the introduction of a national HFC tax in two ways: As an instrument on its own and as an additional measure to the EU phase down.

This differentiated approach enabled an in-depth assessment of each of measure regarding its potential for HFC demand reductions, associated abatement costs and coherence with potential other measures.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 11
Tabellenverzeichnis 16
Abkürzungsverzeichnis 19
Glossar 20
Zusammenfassung 22
Summary 33
1 Hintergrund und Zielsetzungen 42
1.1 Ziele des Vorhabens und Inhalte des Berichts 42
1.2 Hintergrund und gesetzliche Regelungen in Deutschland und Europa 42
1.3 EU-Vorschlag zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung 43
1.4 Änderungen in der endgültigen F-Gase-Verordnung vom 16. April 2014 45
2 Barrieren und Chancen 48
2.1 Einteilung von Barrieren für die Marktdurchdringung von halogenfreien Technologien/ Verfahren 48
2.2 Identifizierte Barrieren und Bewertungsschema 49
2.2.1 Literaturauswertung 49
2.2.1.1 Bericht über die Stakeholder-Befragung zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung (2012) 49
2.2.1.2 Erhebung durch Shecco (2012) 50
2.2.1.3 Studie des UBA zu Supermarktkälte in Deutschland (2008) 51
2.2.2 Barrieren, Chancen und mögliche Maßnahmen 51
2.2.3 Klassifikation der Relevanz von Barrieren 57
2.3 Barrieren in den Hauptanwendungen 58
2.3.1 Gewerbekälte 58
2.3.2 Dämmstoffe 61
2.3.3 Stationäre Klimatisierung: Flüssigkeitskühlsätze 65
2.3.4 Stationäre Klimatisierung: Raumklimageräte 67
3 Methoden für Modellierung und Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen fluorierter Treibhausgase 70
3.1 Überblick über betrachtete Maßnahmen 70
3.2 Modellierung der Maßnahmen 71
3.2.1 Überblick über Szenarien und grundlegende Annahmen 71

3.2.2 Darstellung von HFKW-Nachfrage und HFKW-Emissionen in den Szenarien 74
3.2.3 Integration von externer Expertise 78
3.2.4 Unterschiede zwischen deutschem F-Gase-Modell und Modell AnaFgas für die EU 79
3.2.4.1 Struktur der Sektoren 79
3.2.4.2 Annahmen zur Auswahl und Marktdurchdringung von Alternativen 81
3.3 Bewertung von Maßnahmen 82
3.3.1 Bewertungskonzept 82
3.3.2 Operationalisierung der Bewertung 83
4 Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland 86
4.1 Überblick der Maßnahmen des EU-Vorschlags und weiterer Maßnahmen für Deutschland 86
4.1.1 Nachfüll- und Erstfüllverbot für R404A 87
4.1.2 Importverbot für vorgefüllte Anlagen (Art. 12 Vorbefüllung von Einrichtungen mit teilfluorierten Kohlenwasserstoffen) 88
4.1.3 Phase down (Art. 13 Verringerung des Inverkehrbringens von teilfluorierten Kohlenwasserstoffen) 88
4.1.4 Verbote des Inverkehrbringens von Produkten, die F-Gase enthalten 91
4.2 Modellierung der Maßnahmen des EU-Vorschlags 91
4.2.1 Ausgangssituation im deutschen F-Gas Modell 91
4.2.2 Ergebnisse der Modellierung 94
4.2.2.1 Herangehensweise 94
4.2.2.2 Verbot des Inverkehrbringens vorbefüllter Einrichtungen 94
4.2.2.3 Verbote für Nachfüllung und Erstfüllung mit R404A 99
4.2.2.4 Einsatz alternativer Technologien und Auswirkungen auf die HFKW-Nachfrage im REF-Szenario mit Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen 103
4.2.2.5 Kombinierte Wirkung der Umsetzung alternativer Technologien und der R404A-Füllverbote auf die Nachfrage des REF-Szenarios einschl. Inverkehrsbringungsverbot für Vorfüllung 106
4.2.2.6 Bewertung der Verbotsmaßnahmen 109
4.2.2.7 Bewertung des vorgeschlagenen Phase down-Stufenplans 110
4.2.3 Grenzen der Annahmen 121
4.2.3.1 Unsicherheiten der politischen Vorgaben zur Implementierung von EU Maßnahmen 121

4.2.3.2 Unsicherheiten der Modellparameter 121
4.2.3.3 Unsicherheiten des Preissignals 121
4.2.3.4 Unsicherheiten der Reaktion der Marktteilnehmer in Deutschland 122
4.3 Nationale HFKW-Steuer als eigenständige Maßnahme oder flankierendes Instrument zum EU Phase down ... 122
4.3.1 Einleitung ... 122
4.3.2 Erfahrungen mit Steuern auf fluorierte Treibhausgase in anderen Ländern ... 124
4.3.2.1 Dänemark 124
4.3.2.2 Slowenien 125
4.3.2.3 Spanien 125
4.3.2.4 Norwegen 126
4.3.2.5 Australien 127
4.3.3 Allgemeine Reaktionen des Marktes und Erfahrungen ... 127
4.3.4 Planungen und Studien für F-Gas Steuern in anderen Ländern ... 128
4.3.5 Steuern auf fluorierte Gase als eigenständige nationale Maßnahme in Deutschland ... 131
4.3.5.1 Ausgestaltungsmöglichkeiten und Auswirkungen einer F-Gas/HFKW-Steuer 131
4.3.5.2 Wirkung von HFKW-Steuern 146
4.3.5.3 Vergleich der Steuerszenarien 160
4.3.5.4 Zusammenfassende Bewertung einer HFKW-Steuer als eigenständige nationale Maßnahme 166
4.3.6 Steuer im Instrumentenmix mit dem EU Phase down-Vorschlag ... 167
4.3.6.1 Mögliche Ausgestaltung einer HFKW-Steuer in Kombination zum EU Phase down 168
4.3.6.2 Wirkungen bei stringentem Phase down-Signal 170
4.3.6.3 Wirkungen bei schwachem Phase down-Signal 173
4.3.6.4 Zusammenfassende Bewertung einer deutschen HFKW-Steuer als Ergänzung zum EU Phase down 178
4.3.7 HFKW-Steuern flankierend mit weiteren Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen fluorierter Treibhausgase ... 179
4.3.7.1 Verbote 179
4.3.7.2 Weitere Maßnahmen 180
4.4 Verbote ... 181
4.4.1 Einleitung ... 181
4.4.2 Verbotselemente im EU-Vorschlag ... 181

4.4.3 Weitere mögliche Verbote 183
4.4.4 Bewertung von Verboten als umweltpolitisches Instrument 185
4.4.4.1 Ökologische Effektivität 185
4.4.4.2 Ökonomische Effizienz 185
4.4.4.3 Beschäftigungseffekte 186
4.5 Weitere mögliche Maßnahmen 188
4.5.1 Forschung, Information und Weiterbildung 188
4.5.2 Fördermaßnahmen 188
4.5.3 Beteiligung an der Gestaltung von Normen und Standards 190
5 Schlussfolgerungen und Ausblick 192
5.1 Der EU-Vorschlag zur Revision der F-Gase-Verordnung 192
5.2 Steuern 192
5.2.1 Nationale F-Gas-Steuer MIT parallelem EU Phase down 193
5.2.2 Nationale F-Gas-Steuer OHNE parallelen EU Phase down 194
5.3 Verbote 194
5.4 Innovationsförderung und Öffentlichkeitsarbeit 195
6 Quellenverzeichnis 196
7 Anhang 201
7.1 Beschreibung des Modells 201
7.1.1 Annahmen 201
7.1.2 Tabellenblätter zum Modell 213
7.2 Modellbeschreibung EmIO Deutschland 241
7.3 Energiesteuergesetz im Verbrauchssteuersystem 242

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: HFKW-Nachfrage in Deutschland (kt CO_2 Äq.) in allen Anwendungen im REF- und MIN-Szenario im Zeitraum 2008-2030. R22-Nachfrage entsprechend dem F-Gas-Modell Deutschland, demzufolge das Kältemittel ab 2018 ganz durch HFKWersetzt ist. Der Rückgang im REF-Szenario 2011 bis 2017 geht vor allem auf die Richtlinie 2006/40/EG zum Ausstieg aus R134a bei Autoklimaanlagen zurück. 75

Abbildung 2: HFKW-Emissionen in Deutschland (kt CO_2 Äq) in allen stationären und mobilen Anwendungen in REF-Szenario und MIN-Szenario im Zeitraum 2008-2030. Erläuterungen unter der vorhergehenden Abbildung zur HFKW-Nachfrage. 76

Abbildung 3: HFKW-Nachfrage in Deutschland (kt CO_2 Äq.) in den Subsektoren der Gewerbekälte "Supermarkt-Zentralanlagen", "Discounter-Zentralanlagen" und "Verflüssigungssätze" in REF-Szenario und MIN-Szenario im Zeitraum 2008-2030. Aufgrund der hohen Marktdurchdringungsraten der alternativen Technologien verringert sich die Nachfrage im MIN-Szenario bis 2030 auf 3% des REF-Szenarios. 77

Abbildung 4: Zusammenschau des europäischen Phase down gemäß EU-Vorschlag (mit angenommener 100%-Baseline bei 170 MT CO_2 Äq.) und den Szenarien für die HFKW-Nachfrage in Deutschland (REF-Nachfrage, MIN-Nachfrage). Die Nachfrage nach R22 ist minimal und endet spätestens 2018. 91

Abbildung 5: Das REF-Szenario zeigt eine sinkende Entwicklung der HFKW-Nachfrage bis 2030, die zum großen Teil aus der angenommenen erfolgreichen Umsetzung der MAC-Richtlinie resultiert. Gegenüber dem Durchschnittswert 2008-2011 (19.950 kt CO_2 Äq.) wird für 2030 eine Nachfrage in Höhe von 16.700 kt CO_2 Äq. errechnet, das entspricht einer Senkung um 3.250 kt CO_2 Äq. bzw. 16,2%. 92

Abbildung 6: Zusammenschau des vorgeschlagenen Reduktionsschemas gemäß EU-Vorschlag vom 07.11.2012 (Baseline: 170.000 kt CO_2 Äq.) und der Szenarien für Deutschland. 93

Abbildung 7: HFKW-Nachfrage in Deutschland im REF-Szenario und im REF-Szenario mit Inverkehrbringungsverbot für Vorfüllung nicht-hermetischer Importgeräte (REF+prechBan). Ab 2018, dem angenommenen ersten Verbotsjahr, trennt sich die Nachfragekurve des "REF-Szenarios + Inverkehrbringungsverbot für Vorfüllung" von derjenigen des REF-Szenarios und verläuft ab 2020 konstant höher um

1.800 bis 2.450 ktCO_2Äq. Im Jahr 2030 beträgt die Differenz 2.453 ktCO_2Äq. bzw. 15%. Ursache ist vor allem die inländische Erstbefüllung importierter stationärer Klimageräte- und –anlagen. 98

Abbildung 8: Reduktion der HFKW-Gesamtnachfrage als Folge von (1) Verbot für R404A-Erstbefüllung stationärer Kälteanlagen aller Größen ab 2020einschl. für Nachfüllung von frischem R404A in Anlagen › 10kg ab 2020 sowie (2) zusätzlich dazu Nachfüllverbot mit rückgewonnenem R404A ab 2025, das die Umrüstung noch bestehender R-404A-Anlagen auf R-407A/F ab 2025 bewirkt. Kältemittel der Erstfüllung ab 2020 ist R-407A/F, Kältemittel der Nachfüllung 2020-2024 ist rückgewonnenes R404A (zählt nicht als Nachfrage), Kältemittel der Nachfüllung ab 2025 ist R407A/F. Die Wirkung wird auf das REF-Szenario Inverkehrbringungsverbot Vorfüllung (REF + prechBan) bezogen. Im Jahr 2025 steigt die HFKW-Nachfrage bei Verbot der Nachfüllung mit rückgewonnenem R404A (REF+prechBan+R404ABan+recR404Ban) vorübergehend an, weil R407A/F für die Umrüstung benötigt wird. Erst 2030 erreichen die beiden Reduktionskurven "REF+prechBan+R404ABan" und "REF+prechBan+R404ABan+recR404Ban" wieder gleiche Höhe. 101

Abbildung 9: HFKW-Nachfrage 2008-2030 im REF-Szenario, dem REF-Szenario plus Inverkehrbringungsverbot für Vorfüllungen und der Umsetzung alternativer Technologien in 26 Sektoren (MIN-Szenario). Das MIN-Szenario wird für sich genommen betrachtet – ohne R-404A-Füllverbote. Im Jahr 2030 beträgt der Unterschied zwischen "REF + prechBan" und "MIN-Szenario" 13,348 MT CO_2 Äq. Die Nachfrage beträgt noch 5,804 MT CO_2 Äq. oder 29% des Durchschnitts 2008-2011. Der Unterschied zwischen MIN-Szenario und REF-Szenario (ohne Vorfüll-Importverbot) ist geringer; er beträgt 10,961 MT CO_2 Äq. 105

Abbildung 10: HFKW-Nachfrage 2008-2030 im REF-Szenario plus Inverkehrbringungsverbot für Vorfüllung (REF+prechBan), im MIN-Szenario und bei Kombination der Umsetzung alternativer Technologien des MIN-Szenarios mit den R404A-Füllverboten. Die unterste Kurve drückt die Nachfrage ohne Befristung der Nachfüllung rückgewonnenen R404A aus. Von ihr spaltet sich 2025 nach oben für 5 Jahre die Kurve der Nachfrage ab, die aus der Umrüstung noch bestehender R404A-Anlagen resultiert, wenn kein rückgewonnenes R404A mehr nachgefüllt

werden darf und frisches R407A/F eingesetzt werden muss. Im Jahr 2030 erreicht die Nachfrage des MIN-Szenarios alleine 5,804 MT CO_2Äq, bei Kombination mit den R404A-Füllverboten 0,540 MT CO_2Äq. weniger. 108

Abbildung 11: Zeitliche Entwicklung des Preissignals aus dem EU Phase down..... 111

Abbildung 12: Preissignal 2030 aus dem EU Phase down 112

Abbildung 13: Preissignal 2020 aus dem EU Phase down 113

Abbildung 14: Szenariovergleich Nachfrage 114

Abbildung 15: Szenariovergleich Emissionen 115

Abbildung 16: Szenariovergleich Kosten 116

Abbildung 17: Belastung der Verbraucher durch den EU Phase down (prozentuale Mehrkosten). 119

Abbildung 18: Belastung der Verbraucher durch den EU Phase down (prozentuale Mehrkosten) – Ausschnitt..... 120

Abbildung 19: Kostensteigerung für Anwendungssektoren der stationären Kälte bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen..... 138

Abbildung 20:Kostensteigerung für Anwendungssektoren der mobilen Kälte bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen 139

Abbildung 21: Kostensteigerung für Anwendungssektoren der stationären Klimatisierung bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen 140

Abbildung 22: Kostensteigerung für Anwendungssektoren der mobilen Klimatisierung bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen 141

Abbildung 23: Kostensteigerung für Feuerlöschsysteme bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen 142

Abbildung 24: Kostensteigerung für Schaumanwendungen bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen 143

Abbildung 25: Kostensteigerung für sonstige Anwendungssektoren bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen 144

Abbildung 26: Wertschöpfungskette für HFKW-Nutzung und Durchleitungsmechanismus des Preissignals – HFKW ist **nicht** im Endprodukt enthalten. 147

Abbildung 27: Wertschöpfungskette für HFKW-Nutzung und Durchleitungsmechanismus des Preissignals – HFKW ist im Endprodukt enthalten 148

Abbildung 28: Wirkung und Einnahmen einer Steuer 150

Abbildung 29: Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq.) bei voll wirksamem Preissignal für HFKW-Bulkware ohne Ausnahmen. 152

Abbildung 30: Steuerszenario für Deutschland (30 €/t CO_2-Äq.) bei voll wirksamem Preissignal für HFKW-Bulkware ohne Ausnahmen. 153

Abbildung 31: Steuerszenario für Deutschland (40 €/t CO_2-Äq.) bei voll wirksamem Preissignal für HFKW-Bulkware ohne Ausnahmen. 153

Abbildung 32: Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq.) bei voll wirksamem Preissignal für HFKW-Bulkware mit einer Ausnahme für Schaumanwendungen. 154

Abbildung 33: Steuerszenario für Deutschland (30 €/t CO_2-Äq.) bei voll wirksamem Preissignal für HFKW-Bulkware mit einer Ausnahme für Schaumanwendungen. 155

Abbildung 34: Steuerszenario für Deutschland (40 €/t CO_2-Äq.) bei voll wirksamem Preissignal für HFKW-Bulkware mit einer Ausnahme für Schaumanwendungen. 155

Abbildung 35: Ökonomische Mechanismen bei Schaffung und Abbau von Arbeitsplätzen durch eine HFKW-Steuer. Quelle: Eigene Darstellung nach Quirion und Demailly (2008). 159

Abbildung 36: Szenariovergleich Nachfrage 161

Abbildung 37: Szenariovergleich Emissionen 162

Abbildung 38: Vergleich der Szenarien: Kosten 163

Abbildung 39: Vergleich der Szenarien: Beschäftigungseffekte 164

Abbildung 40: Wirkmechanismus der Preisuntergrenze bei stringentem Phase down-Signal 170

Abbildung 41: Wirkmechanismus des fixen Steuersatzes bei stringentem Phase down-Signal 171

Abbildung 42: Wirkmechanismus der Preisuntergrenze bei schwachem Phase down-Signal 174

Abbildung 43: Wirkmechanismus des fixen Steuersatzes bei schwachem Phase down-Signal 175

Abbildung 44: Ökonomische Mechanismen bei Schaffung und Abbau von Arbeitsplätzen durch ein Verbot von bestimmten HFKW-

Anwendungen. Quelle: Eigene Darstellung nach Quirion und Demailly (2008). 187

Abbildung 45 Ökonomische Mechanismen für Beschäftigungseffekte 241

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Emissionssenkungen einzelner Sektoren für die Jahre 2005, 2030 und 2050 gemäß „Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO_2-armen Wirtschaft bis 2050“ der EU-Kommission 51

Tabelle 2: Arten von Barrieren, mögliche Maßnahmen zur Überwindung dieser Barrieren und daraus abgeleitete Chancen gemäß Literaturauswertung 53

Tabelle 3: Bewertungsschema der Relevanz von Barrieren in den Hauptanwendungen 58

Tabelle 4: Überblick zu Barrieren des Einsatzes von Alternativen in der Gewerbekälte, Relevanz der Barrieren und potentielle Maßnahmen 59

Tabelle 5: Überblick zu Barrieren des Einsatzes von Alternativen bei Dämmstoffen, Relevanz der Barrieren und potentielle Maßnahmen 63

Tabelle 6: Überblick zu Barrieren des Einsatzes von Alternativen bei Flüssigkeitskühlsätzen, Relevanz der Barrieren und potentielle Maßnahmen 65

Tabelle 7: Überblick zu Barrieren des Einsatzes von Alternativen bei Raumklimageräten, Relevanz der Barrieren und potentielle Maßnahmen 68

Tabelle 8: Möglicher Beginn von Verbotsmaßnahmen und Emissions-Vermeidungskosten im Jahr 2030 in der EU in den betrachteten Anwendungen (Schwarz et al. 2011). 70

Tabelle 9: Anwendungssektoren, in denen im MIN-Szenario 100% Marktdurchdringung der Alternativen im angegebenen Jahr erreicht wird und die daher möglichen Verboten unterliegen können 73

Tabelle 10: HFKW-Nachfrage (kt CO_2 Äq.) in allen Anwendungen in Deutschland gemäß den Annahmen für REF- und MIN-Szenario in den Jahren 2014, 2020 und 2030. 76

Tabelle 11: HFKW-Emissionen (kt CO_2 Äq.) in allen Anwendungen in Deutschland gemäß den Annahmen für REF- und MIN-Szenario in den Jahren 2014, 2020 und 2030. 77

Tabelle 12: HFKW-Nachfrage in Deutschland (kt CO_2 Äq.) in der Gewerbekälte (Subsektoren "Supermarkt-Zentralanlagen", "Discounter-Zentralanlagen" und "Verflüssigungssätze") in REF-Szenario und MIN-Szenario in den Jahren 2014, 2020 und 2030. 78

Tabelle 13: Übersicht der durchgeführten Expertengespräche zur Diskussion der Annahmen 79

Tabelle 14: Aufbau des deutschen Modells und Aufbau des Modells AnaFgas für die EU-27. 80

Tabelle 15: Anwendungssektoren, in denen die Annahmen für Deutschland von denen für die EU-27 abweichen, und getroffene Annahmen. 81

Tabelle 16: Übersichtstabelle zur vergleichenden Gesamtbewertung der Maßnahmenpakete. 83

Tabelle 17: Reduktionsschema für schrittweise Mengenbeschränkungen für HFKW-Bulkware gemäß Vorschlag der EU-Kommission vom 07.11.2012. Die Berechnung der Höchstmengen wurde beispielhaft mit Ausgangswerten 186 und 170 MT CO_2 Äq. durchgeführt. 89

Tabelle 18: HFKW-Nachfrage in Deutschland im MIN-Szenario bis 2030. Prozentualer Anteil der HFKW-Nachfrage gemäß der Annahmen zum Einsatz von Alternativen in Bezug zur beispielhaft gewählten Ausgangsmenge von 20,6 MT CO_2 Äq. in 2010. Entsprechende prozentuale Reduktion der Nachfragemengen. 92

Tabelle 19: Anteile inländischer Befüllung heute und bei Vorfüllverbot in den relevanten Sektoren 95

Tabelle 20: Projektion der HFKW-Gesamtnachfrage aller Sektoren im REF-Szenario und im REF-Szenario mit Inverkehrbringungsverbot für Vorfüllung- von 2017 bis 2030. Angaben in ktCO_2Äq. 98

Tabelle 21: HFKW-Gesamtnachfrage als Folge von (1) Verbot allgemeiner R404A-Erstbefüllung einschl. Pflicht zur Nachfüllung mit R404A-Recyclingware für Anlagen ›10 kg und (2) zusätzlicher Umrüstung bestehender R404A-Anlagen ab 2025 auf R407A/F – in Bezug auf "REF-Szenario + Inverkehrbringungsverbot Vorfüllung" – von 2017 bis 2030 – (ktCO_2 Äq.) 103

Tabelle 22: Projizierte HFKW-Gesamtnachfrage als Folge der umfassenden Umsetzung alternativer Technologien (MIN-Szenario) in Relation zum REF-Szenario und zum REF-Szenario + Inverkehrbringungsverbot Vorfüllung (REF + prechBan) – von 2017 bis 2030 (kt CO_2 Äq.). 106

Tabelle 23: Marktdurchdringungsraten HFKW-freier Neuanlagen in den Sektoren mit R404A-Anwendung 2020 und 2030 (nach Modell) 106

Tabelle 24: Auswirkung der Marktdurchdringung von Neuanlagen (ab 2015) auf die Nachfüll-Nachfrage in den Sektoren mit R-404A-Anwendung 2020 und 2030 (nach UBA-Modell) 107

Tabelle 25: HFKW-Gesamtnachfrage durch Kombination der Umsetzung alternativer Technologien im MIN-Szenario mit den R404A-Füllverboten in Bezug auf das "REF-Szenario einschl. Inverkehrbringungsverbot Vorfüllung" (REF+prechBan) – 2017 bis 2030 (kt CO_2 Äq.). 109

Tabelle 26: Tabellarische Übersicht über Bewertungsparameter der Phase down-Szenarien 117

Tabelle 27: Ausgestaltung der deutschen Energiesteuer (nach Energiesteuergesetz 2006) und mögliche Übertragbarkeit der Ausgestaltungsmerkmale auf eine F-Gas-Steuer 131

Tabelle 28: Tabellarische Übersicht über Bewertungsparameter der Steuerszenarien 165

Tabelle 29: Verbotsmaßnahmen des Vorschlags zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung der EU-Kommission (linke Spalte) und der späteren Diskussion. 181

Tabelle 30: Anwendungssektoren, in denen im MIN-Szenario 100% Marktdurchdringung der Alternativen im angegebenen Jahr erreicht wird, und Nachfrage-Vermeidungskosten im Jahr 2030 (€/t CO_2 Äq.). 183

Tabelle 31: Annahmen zum Wachstum der Nachfrage nach Bulk-HFKW für die 28 analysierten Sektoren im deutschen F-Gas-Modell, von 2011 bis 2030 (in % von 2011). 202

Tabelle 32: Annahmen zu Alternativtechnologien und deren Marktdurchdringung 2030 im Minimalszenario (MIN) in Anwendungen der Kältetechnik. 209

Tabelle 33: Annahmen zu Alternativtechnologien und deren Marktdurchdringung 2030 im Minimalszenario (MIN) in Anwendungen der mobilen und stationären Klimatisierung 210

Tabelle 34: Annahmen zu Alternativtechnologien und deren Marktdurchdringung 2030 im Minimalszenario (MIN) für Anwendungen der Sektoren Feuerlöschmittel, Aerosole und Dämmstoffe (Schäume). 212

Abkürzungsverzeichnis

AC	Air Conditioner
AT	Alternativtechnologie
AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
CO_2 Äq.	CO_2-Äquivalente
D	Deutschland
DX	Direct Expansion; Direktverdampfung
EMCS	Excise Movement and Control System
EU	Europäische Union
F-Gase	Fluorierte Treibhausgase
FKW	Perfluorierte Kohlenwasserstoffe
F&E	Forschung und Entwicklung
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
GWP	Global Warming Potential; Treibhauspotenzial
HFKW	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MAC	Mobile Air Conditioning; Mobilklima
MDR	Marktdurchdringungsrate
MIN-Szenario	Minimal-Szenario
MT	Millionen Tonnen
Non-EU	Länder außerhalb der Europäischen Union
PD	Phase down
POM	„Placing on the market“: Inverkehrbringung
PU-Schaum	Polyurethan-Schaum
REF-Szenario	Referenzszenario
ST	Steuerszenario
THG	Treibhausgase
UBA	Umweltbundesamt
UNEP	United Nations Environment Programme
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
US EPA	United States Environmental Protection Agency
VRF RAC	Variable Refrigeration Flow Room Air Conditioner
XPS-Schaum	Extrudierter Polystyrol-Schaum

Glossar

AnaFgas-Modell	Modell zur Verwendung und Emissionen von F-Gasen in der EU, das im Rahmen der Preparatory Study for the review of the F-gas Regulation (Schwarz et al 2011) von Öko-Recherche und Öko-Institut entwickelt wurde.
Baseline	Die Baseline ist der Ausgansgwert zur Berechnung der Reduktionsstufen im HFKW Phase down. Es handelt es sich hierbei um die im Durchschnitt in der EU-weit in Verkehr gebrachten Menge (in CO_2-Äquivalenten) zwischen 2009 und 2012. Für das Jahr 2030 wird eine Reduzierung dieser Menge auf 21 % angestrebt.
Chemikalien-Klimaschutzverordnung	Die Chemikalien-Klimaschutzverordnung (ChemKlimaSchutzV) implementiert die EU-F-Gase-Verordnung in Deutschland und beinhaltet auch einige zusätzliche Maßnahmen wie etwa Grenzwerte für spezifische Kältemittelverluste aus stationären Kälte- und Klimaanlagen. Darüber hinaus trifft die Verordnung auch Regelungen für die Sachkunde und Zertifizierung des Wartungspersonals.
CO_2-Äquivalente	CO_2-Äquivalente geben die Auswirkung einer Menge an Treibhausgasen in Relation zu CO_2 wieder. Die CO_2-Äquivalente beziehen sich immer auf einen bestimmten Zeitraum, z. B. 100 Jahre. Beispielsweise hat Schwefelhexafluorid ein Treibhauspotential von 22.800. Das bedeutet, dass dieselbe Menge Schwefelhexafluorid über 100 Jahre betrachtet denselben Treibhauseffekt wie das 22.800 fache derselben Menge an CO_2 hat.
Deutsches F-Gas-Modell	Modell zu Verwendung und Emissionen von F-Gasen in Deutschland, das im Auftrag des UBA für die Emissionsberichterstattung entwickelt und stetig fortgeschrieben wird.
EmIO-Modell	EmIO (Employment Input Output Model) ist ein statisches Input-Output Modell für Deutschland bzw. die europäische Union, mit dem direkte und indirekte Produktions- und Beschäftigungseffekte von energie- und klimapolitischen Maßnahmen analysiert werden.
F-Gase	Fluorierte Treibhausgase (HFKW, FKW, SF_6) unterliegen wegen ihrer hohen Treibhauspotenziale dem Kyoto Protokoll. Sie wurden zum Teil als Ersatzstoffe für ozonschichtschädigende Substanzen entwickelt und werden heute u.a. als Kältemittel, Treibmittel, Lösemittel, Aerosole etc. eingesetzt.
F-Gase-Verordnung 842/2006	Die F-Gase-Verordnung ist eine EU-Verordnung, welche Maßnahmen für verschiedene Anwendungen von fluorierten Treibhausgasen zur Vermeidung von Emissionen beinhaltet. Diese Maßnahmen sind z.B. Dichtheitsprüfungen für stationäre Kälte- und Klimaanlagen; die Rückgewinnung von gebrauchten Kältemitteln und anschließende Recycling-/ Wiederaufbereitungs- bzw. Zerstörungsmaßnahmen; Sachkunde und Zertifizierung von Personal und Unternehmen; Aufzeichnungspflichten; Kennzeichnungspflichten; Kontrolle der Verwendung von F-Gasen in einigen Anwendungen.
Kyoto-Protokoll	Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen ist ein 1997 in Kyoto beschlossenes Zu-

	satzprotokoll zur Ausgestaltung der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) mit dem Ziel des Klimaschutzes. Ziel des Protokolls ist die Senkung des jährlichen Treibhausgas-Ausstoßes der Industrieländer innerhalb der sogenannten ersten Verpflichtungsperiode (2008–2012) um durchschnittlich 5,2 Prozent gegenüber dem Stand von 1990. Während der UN-Klimakonferenz in Durban 2011 einigten sich die Vertragstaaten auf eine Verlängerung des Protokolls und definierten das Ziel, ihre Emissionen bis 2020 um 25 bis 40 Prozent reduzieren.
Ozonschichtschädigende Substanzen	Substanzen, die sich in der Stratosphäre sammeln und dort Ozon abbauen. Es handelt sich in der Regel um Kohlenwasserstoffe, die ein oder mehrere Chlor- oder Fluoratome beinhalten. Die Halogenatome verbinden sich in der Ozonschicht mit freien Sauerstoffradikalen und verhindern bis zum Zerfall der eigenen stabilen Bindung die Entstehung neuer Sauerstoffradikale. Die ozonschichtschädigenden Substanzen (englisch: ozone depleting substances; ODS) werden unter dem Montrealer Protokoll geregelt.
Phase down	Verringerung der Menge (in CO_2-Äquivalenten) von in Verkehr gebrachten teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW) auf dem EU-Markt gemäß eines festgelegten Reduktionsschemas. Als Basis der Berechnung (Baseline) dient der Durchschnitt der EU-weit in Verkehr gebrachten Menge zwischen 2009 und 2012. Im Jahr 2015 liegt die erlaubte Menge bei 100 % dieses Ausgangswertes. Bis zum Jahr 2030 soll eine stufenweise Reduktion auf 21 % erfolgen.
Revision der F-Gase-Verordnung 842/2006	Überarbeitung der F-Gase-Verordnung, die bereits bei der Erstellung der Verordnung vorgesehen war (Artikel 10)
Richtlinie 2006/40/EG (MAC-Richtlinie)	EU-Richtlinie über Fahrzeugklimaanlagen (englisch: MAC-Directive), die einen Ausstieg aus der Verwendung des bisher eingesetzten Kältemittels R134a für neue Fahrzeuge bis 2017 vorsieht.

Zusammenfassung

Hintergrund und Zielsetzungen des Vorhabens

Die Emissionen zahlreicher fluorierter Treibhausgase (sogenannter F-Gase) unterliegen wegen ihres hohen Treibhauspotenzials der Klimarahmenkonvention und dem Kyoto Protokoll. Die Verwendung der F-Gase, die unter anderem als Ersatzstoffe für ozonschichtschädigende Substanzen entwickelt wurden, hat in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen und zu steigenden Emissionen geführt.

Auf EU-Ebene wurden erste Maßnahmen zur Verringerung der F-Gas-Emissionen getroffen, die in der sogenannten F-Gase-Verordnung (EG) Nr. 842/2006 und der Richtlinie 2006/40/EG über Fahrzeugklimaanlagen (MAC-Richtlinie) verankert sind.

Eine Bewertung der Erfolge der F-Gase-Verordnung wurde von der Europäischen Kommission (EU-Kommission) im September 2011 vorgelegt. Die Kommission stellte in einem Bericht fest, dass die bisherigen Maßnahmen in den nächsten Jahrzehnten nur zu einer Stabilisierung der F-Gas-Emissionen führen werden. Viele Anwendungssektoren von F-Gasen werden deutlich wachsen, was mit einem Anstieg der Emissionen einhergehen wird. Es wurden weitere Maßnahmen als erforderlich erachtet, um eine Reduzierung der Emissionen fluorierter Treibhausgase zu erreichen. Daher wurde durch die EU-Kommission eine Überarbeitung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 empfohlen und in die Wege geleitet.

Einen ersten Entwurf für eine neue Verordnung veröffentlichte die EU-Kommission im November 2012[1]. Darin werden zusätzliche Maßnahmen vorgeschlagen, die im Wesentlichen drei Paketen zugeordnet werden können:

- Schrittweise Beschränkung der auf dem Markt verfügbaren Mengen an teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW);
- Verwendungs- und Inverkehrbringungsverbote;
- Fortführung und Ergänzung der bisherigen Regelungen zu Dichtheitsprüfungen, Zertifizierung, Entsorgung und Kennzeichnung.

Vor diesem Hintergrund der Revision der F-Gase-Verordnung befasste sich dieses Vorhaben mit folgenden Inhalten:

- Identifizierung von Barrieren und Chancen für halogenfreie Stoffe und/oder Technologien in verschiedenen Anwendungen sowie übergreifend,
- Modellierung und Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen fluorierter Treibhausgase in mehreren Szenarien und
- Bewertung von nationalen Steuern auf fluorierte Treibhausgase als eigenständige Maßnahme oder als flankierendes Instrument zum EU Phase down.

Barrieren und Chancen

Im Rahmen einer Literaturauswertung wurden Barrieren für die Marktdurchdringung halogenfreier Stoffe/Verfahren identifiziert. Folgende Einteilung der Typen von Barrieren wurde vorgenommen:

- Ökonomische Barrieren

[1] Die Neufassung der F-Gase-Verordnung wurde als Verordnung (EU) Nr. 517/2014 im April 2014 verabschiedet.

- Technische Barrieren
- Mangel an Information/Wissen/Akzeptanz
- Fehlende/ unzureichende Standardisierung/Regulierung
- Mangelnde Verfügbarkeit

Neben einer allgemeinen Auswertung wurden Barrieren in besonders wichtigen Anwendungen von F-Gasen im Detail betrachtet. Hierzu zählen die Gewerbekälte, Dämmstoffe und stationäre Klimatisierung, letztere unterteilt in Raumklimageräte und Flüssigkeitskühlsätze. Für diese vier Hauptanwendungen sind relevante Barrieren für die weitere Marktdurchdringung von Alternativen, eine Bewertung ihrer Relevanz und mögliche Maßnahmen zur Überwindung dargestellt.

Methoden für Modellierung und Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen

Die im Rahmen dieses Vorhabens betrachteten Maßnahmen umfassten

- **Marktbasierte Instrumente:** EU-weite Mengenbeschränkungen für das Inverkehrbringen von HFKW und deren Auswirkungen in Deutschland im Kontext der landesspezifischen Möglichkeiten zur Reduzierung der Verwendung von HFKW. Eine deutsche HFKW-Steuer wurde einerseits als ergänzende nationale Maßnahme zu den europäischen Mengenbeschränkungen und andererseits als eigenständige nationale Maßnahme betrachtet.
- **Verbote der Verwendung von HFKW:** Einige Verbotsmaßnahmen für F-Gase auf EU-Ebene wurden im Rahmen der Revision der F-Gase-Verordnung diskutiert. Diese Verbotsmaßnahmen wurden in der Studie aufgegriffen.
- **Weitere Maßnahmen:** Mögliche weitere Maßnahmen im Hinblick auf ihre Eignung zur Minderung von F-Gas Emissionen wurden untersucht, darunter Forschung, Information und Weiterbildung, Fördermaßnahmen sowie die Beteiligung an der Gestaltung technischer Normen.

Die Modellierung dieser Maßnahmen erfolgte im Wesentlichen auf der Basis eines deutschen F-Gas-Modells, das analog zur Berechnungsmethodik für die EU (Modell AnaFgas) in diesem Vorhaben weiterentwickelt wurde. Im Unterschied zum Modell AnaFgas für die EU-27 war der Ausgangsdatensatz detaillierter und berücksichtigte an zahlreichen Stellen landesspezifische Unterschiede; über die europäische Gesetzgebung hinaus wurden spezifische deutsche Vorgaben berücksichtigt.

Für die Darstellung und Analyse der betrachteten Maßnahmen bzw. Maßnahmenpakete wurden zwei Szenarien als generische Szenarien für den Zeitraum bis 2030 erstellt:

- Das **Referenzszenario (REF)**, das die Entwicklung von HFKW-Verbrauch und HFKW-Emissionen für alle analysierten 28 HFKW-Sektoren in Deutschland bis 2030 projiziert und Annahmen zu den Auswirkungen der EU F-Gase-Verordnung, der MAC-Richtlinie sowie der Chemikalien-Klimaschutzverordnung enthält. Dieses Szenario stellt kein Business-as-usual-Szenario dar, da bereits einige Maßnahmen umgesetzt bzw. in Gang gekommen sind.
- Das **Szenario des minimalen HFKW-Verbrauchs bzw. der minimalen HFKW-Emissionen (MIN)**, welches die projizierten Rückgänge der Verbräuche und Emissionen abbildet. Das MIN-Szenario stellt die Umstellung auf Alternativen zu HFKW dar. Dabei ergibt sich die Reduzierung der HKFW-Nachfrage aus der Zunahme der Nachfrage nach Technologien und Verfahren ohne HFKW, die ihrerseits den im Modell

enthaltenen Marktdurchdringungsraten (penetration rates) folgen. Die Marktdurchdringungsraten wurden für die verschiedenen Anwendungen von Experten im Rahmen dieses Projekts sowie im Zuge der Studie für die EU-Kommission abgeschätzt. Dabei werden die identifizierten technischen Ersatzoptionen mit den möglichen Marktdurchdringungsraten (MDR) in den Jahren 2015, 2020 und 2030 berücksichtigt. Die Höhe der Vermeidungskosten dient als Kriterium für die Auswahl der HFKW-freien Alternativen, wenn mehr als eine alternative Option technologisch machbar und finanziell tragbar ist ("penetration mix"). Die Summe der nicht wegen zu hoher Vermeidungskosten ausgeschlossenen Einzelmaßnahmen aller Anwendungsbereiche bestimmt dieses Szenario.

Die Maßnahmen bzw. Maßnahmenpakete werden in **Maßnahmenszenarien** abgebildet. Alle Maßnahmenszenarien liegen innerhalb des Szenarientrichters, der von den beiden generischen Szenarien (REF-Szenario und MIN-Szenario) aufgespannt wird, und werden im Rahmen der Quantifizierung aus diesen sektorweise bzw. *ersatzoptionsweise zusammengesetzt.*

Das Phase down-Szenario (PD) stellt den EU HFKW-Phase down in Deutschland dar, das Steuerszenario (ST) zeigt die Vorschläge für die Besteuerung von HFKW-Mengen.

Den Modellierungen liegen die GWP_{100}-Werte des 4. IPCC-Assessment-Reports zugrunde. Hinsichtlich der Effekte der F-Gase-Verordnung von 2006 und der deutschen Chemikalien-Klimaschutzverordnung wurde davon ausgegangen, dass die Emissionsraten der Bestands- und Entsorgungsemissionen in allen Sektoren im Vergleich zu historischen Zeitreihen ab 2011 schrittweise bis 2020 um 30% sinken.

Die Maßnahmenszenarien betrafen ausschließlich HFKW, nicht SF_6 und FKW. Für die Erstellung der beiden generischen Szenarien REF und MIN wurden je nach Sektor verschiedene Annahmen zur technischen Weiterentwicklung, zu Kosten und Emissionen für den Zeitraum bis 2030 getroffen, die im Anhang in Kapitel 7.1 beschrieben sind.

Die Entwicklung von HFKW-Nachfrage und HFKW-Emissionen wurden im REF- und im MIN-Szenario modelliert. Die HFKW-Nachfrage im Jahr 2014 beträgt in Deutschland in beiden Szenarien 20.854 kt CO_2 Äq. Im MIN-Szenario erfolgt bis 2030 entsprechend der zunehmenden Marktdurchdringung der Alternativtechnologien ein Rückgang auf 5.738 kt CO_2 Äq. (27,5% der HFKW-Nachfrage des Jahres 2014). Die HFKW-Emissionen aller Anwendungen im Jahr 2014 betragen im Modell in beiden Szenarien 10.967 kt CO_2 Äq. Im MIN-Szenario ergibt sich eine Verringerung auf 3.159 kt CO_2 Äq. im Jahr 2030 (29% der HFKW-Emissionen im Jahr 2014).

REF- und MIN-Szenarien können im Modell für die 28 Sektoren einzeln erstellt werden. Da die Annahmen zur Substitution von HFKW entsprechend der Einführung der Alternativtechnologien in den verschiedenen Anwendungen variieren, verlaufen die Graphen für HFKW-Nachfrage und HFKW-Emissionen in jedem Sektor anders.

Bei der Erarbeitung der Annahmen zu Alternativtechnologien und der Schätzung von Marktdurchdringungsraten wurde auf die Arbeiten von Öko-Recherche mit Erhebungen für die EU-27 und die Methoden des Modells AnaFgas zurückgegriffen. Die Einbindung externer Expertise wurde für die Hauptanwendungen im Rahmen von mehreren Expertengesprächen sichergestellt.

Eine ökologische und ökonomische Gesamtbewertung wurde auf Grundlage der Modellierungsergebnisse vorgenommen, wobei zum Teil Ergebnisse für die EU auf Deutschland übertragen werden konnten. Die Bewertung umfasste folgende Parameter:

- Emissionen / Emissionsreduktion 2030
- F-Gas-Nachfrage (Verbrauch) 2030
- Kosten für die Anwender der F-Gase (bzw. der F-Gas-Substitute)
- Kosteneffekte für Endverbraucher
- Zu erwartendes Steueraufkommen sowie
- Arbeitsplatzeffekte 2030.

Diese Analyse wurde separat für jeden der 28 Anwendungssektoren anhand einer repräsentativen Beispielanlage durchgeführt.

Für jeden Anwendungssektor wurde eine HFKW-basierte Referenztechnologie definiert sowie eine oder mehrere (halogenfreie) Alternativtechnologien. Für jede einzelne Alternativtechnologie wurden neben weiteren technisch-ökonomischen Kennzahlen die Emissionsvermeidungskosten für 2030, die Verbrauchsvermeidungskosten für 2030 (beide in der Einheit €/t CO_2-Äq. und im Vergleich zur Referenztechnologie des Anwendungssektors) berechnet und die maximalen Marktdurchdringungsraten für Neuanlagen im Zeitverlauf bis 2030 definiert.

Die Anwendung einer Alternativtechnologie in einem Anwendungssektor wird als Einzelmaßnahme bezeichnet, und zwar ab dem Zeitpunkt der technischen Verfügbarkeit (Szenarien MIN, EU PD und ST) bzw. ab dem Zeitpunkt, wenn im betreffenden Anwendungssektor zu 100% Alternativtechnologien zur Verfügung stehen. Für jede Einzelmaßnahme wurden Emissions- und Verbrauchsreduktion in 2030 gegenüber dem REF-Szenario 2030 berechnet. Die Summe aller Einzelmaßnahmen aller Anwendungsbereiche bestimmt somit das MIN-Szenario (Kostenschwelle 50 €/t CO_2 Äq.). Die Reduktionspotenziale 2030 der Einzelmaßnahmen wurden nach steigenden Verbrauchsvermeidungskosten geordnet und ergaben so eine Vermeidungskostenkurve für 2030.

An dieser Verbrauchsvermeidungskostenkurve konnte nun für das Steuerszenario (ST) bei einem gegebenen Steuersatz „abgelesen“ werden, welche Einzelmaßnahmen/ Alternativtechnologien für die Anlagenbetreiber günstiger sind als das Festhalten an der Referenztechnologie mit dann besteuertem HFKW-Verbrauch. Für die so identifizierten Einzelmaßnahmen wurde im Steuerszenario eine Umsetzung angenommen.

Ein Verbotsszenario wurde nicht modelliert, sondern qualitativ beschrieben. Dieses Szenario beinhaltet Verbote für HFKW-Anwendungen ab dem Zeitpunkt, ab dem die Marktdurchdringung von Alternativtechnologien 100% erreicht hat.

Die Analyse der Arbeitsplatzeffekte erfolgte über die Bestimmung der Nachfrageimpulse auf die deutsche Wirtschaft mit Hilfe des EmIO (Employment Input Output) Modells des Öko-Instituts in einer komparativ statischen Betrachtung.

Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland

Zu Beginn dieses umfangreichsten Teils der Studie wird zunächst ein Überblick über die im Rahmen des Revisionsprozesses der F-Gase-Verordnung diskutierten Maßnahmen gegeben. Diese unterscheiden sich in einigen wichtigen Aspekten von denen des ursprünglichen Revisionsvorschlags vom November 2012.

Die für die HFKW-Nachfrageentwicklung hauptsächlich relevanten Maßnahmen sind:

- Nachfüll- und Erstfüllverbote für HFKW mit GWP ≥2.500 ab 2020: Diese würden in der Praxis vor allem Kälteanlagen mit dem stark verbreiteten Kältemittel R404A (GWP 3.922) sowie dem Kältemittel R507 (GWP 3.985) betreffen. Rückgewonnene und aufgearbeitete Kältemittel mit GWP ≥2.500 könnten noch bis 2025 nachgefüllt werden.
- Importverbot für vorgefüllte Anlagen: Ein solches Verbot würde stationäre Kälte- und Klimaanlagen sowie Wärmepumpen betreffen, die ab 2018 nicht mehr vorbefüllt auf den Markt gebracht werden dürften. Alle Anlagen zur inländischen Verwendung, ob im Inland produziert oder eingeführt, wären im Inland zu befüllen.
- Mengenbeschränkungen für HFKW in der EU (Phase down): Ein Stufenplan für die Reduktion der maximalen HFKW-Menge, die dem Markt bis 2030 zur Verfügung stehen soll, sieht die Verringerung auf 21% bis 2030 vor (gegenüber 100% im Jahr 2015). Die angegebenen Reduktionsschritte wären auf die Ausgangsmenge (in Tonnen CO_2-Äquivalenten) bezogen. Als Ausgangsmenge (Baseline) würde der „Jahresdurchschnitt der im Zeitraum 2008-2011 in der EU hergestellten und in die EU eingeführten Gesamtmenge“ an HFKW gelten, wobei damit nur HFKW-Bulkware[2] (in Tonnen CO_2-Äquivalenten) gemeint ist.

Weitere Maßnahmen, die geringeren Einfluss auf die HFKW-Nachfrage mit sich bringen, sind Inverkehrbringungsverbote bestimmter Systeme, die HFKW enthalten (etwa Feuerlöschanlagen und –systeme, Haushaltskühl- und –gefriergeräte).

Im Kapitel 4.2 werden Ergebnisse der Modellierung oben genannter EU-Maßnahmen für Deutschland vorgestellt und Unsicherheiten der herangezogenen Methoden betrachtet. Annahmen und Ergebnisse für REF- und MIN-Szenario für die HFKW-Nachfrage in Deutschland sowie die Reduktionsstufen des Vorschlags der EU Kommission werden dargestellt.

Für die HFKW-Mengenbeschränkungen wurde hierbei ein Ausgangswert von 170 MT CO_2 Äq. (100%) angenommen, der in etwa der durchschnittlichen jährlichen Verkaufsmenge in der EU im Zeitraum 2008-2011 entspricht. Der Anteil der deutschen Nachfrage an dem im REF-Szenario angenommenen Ausgangswert für die EU liegt bei etwa 12% (20,6 MT CO_2 Äq. der 170 MT CO_2 Äq.). Die langfristig stabile HFKW-Nachfrage im REF-Szenario 2030 würde etwa die Hälfte der dann noch EU-weit verfügbaren HFKW-Mengen aufbrauchen. Durch die dem MIN-Szenario zugrunde liegenden Maßnahmen lässt sich die HFKW-Nachfrage in Deutschland deutlich reduzieren und zwar auf ca. 5,7 MT CO_2 Äq., was etwa 16% der Menge der EU-27 entsprechen würde (5,7 MT CO_2 Äq. der 35,7 MT CO_2 Äq.).

Zur Darstellung der oben genannten Maßnahmen wurden diese auf das bisherige REF-Szenario bezogen. Dabei wurden anwendungsspezifische Anpassungen in den jeweils betroffenen Sektoren vorgenommen.

Folgende Varianten des REF-Szenarios wurden modelliert:

[2] Gemeint sind Mengen in Gebinden.

REF-Szenario mit Inverkehrbringungsverbot für vorbefüllte Einrichtungen ab 2018: Das Inverkehrbringungsverbot führt zu einer Erhöhung der inländischen Nachfrage nach HFKW-Bulkware in den betroffenen Kälte- und Klimasektoren (Raumklima-Splitgeräte, Multisplitgeräte, Flüssigkeitskühlsätze, Heiz-Wärmepumpen, Kühlfahrzeuge). In den Sektoren der mobilen Klimatisierung (Nutzfahrzeuge, Busse) verursacht ein Inverkehrbringungsverbot einen leichten Rückgang der HFKW-Nachfrage. Für Klimaanlagen von Pkw und kleinen Nutzfahrzeugen gelten die Regelungen der MAC-Richtlinie, die ab 2017 keine Befüllung in der EU produzierter und importierter Fahrzeuge mit R134a mehr erlauben. Weiterhin werden jedoch die Exportfahrzeuge in Nicht-EU-Länder mit R134a befüllt, weil (bzw. sofern) dort R134a nicht verboten ist.

Für diese Variante ergeben sich erst ab 2017 Unterschiede zum REF-Szenario. Dann steigt die HFKW-Nachfrage sofort an und verläuft ab 2020 konstant. Im Jahr 2030 beträgt die Nachfrage 2.453 kt CO_2 Äq. (+15%) mehr als im REF-Szenario.

REF-Szenario mit Verbot für Erst- und Nachfüllung mit R404A ab 2020: Dieses Verbot betrifft im Modell die Sektoren der Gewerbekälte und der Industriekälte. Vereinfachend wird angenommen, dass ein Nachfüllverbot für R404A in der Praxis in eine Umrüstung der Anlagen auf die thermodynamisch vergleichbaren Kältemittel-Mischungen R407A (GWP: 2.107) und R407F (GWP: 1.825) mündet. Es ergeben sich dadurch Reduktionen der HFKW-Nachfrage: Als Folge des R404A-Erstbefüllungsverbots für alle stationären Anlagen ab 2020 (Verbot des Inverkehrbringens von Einrichtungen mit Kältemittel mit GWP > 2.500) und des R404A-Nachfüllverbots für größere Anlagen ab 2020 (Beschränkung der Verwendung zur Wartung oder Instandhaltung) fällt die HFKW-Nachfrage 2020 scharf ab (um etwa 2,5 MT CO_2 Äq.) und verläuft bis 2030 auf diesem niedrigeren Niveau. Die Mengen an recyceltem R404A, die bis 2025 noch zur Nachfüllung bestehender Kälteanlagen verwendet werden, zählen nicht zur HFKW-Nachfrage. Eine Befristung der Nachfüllung mit (rückgewonnenem) R404A auf fünf Jahre, d.h. bis 2024, löst daher ab 2025 eine zusätzliche Nachfrage nach R407A/F aus, das nun für die Umrüstung der noch bestehenden Anlagen benötigt wird.

Einsatz alternativer Technologien und Auswirkungen auf die HFKW-Nachfrage im REF-Szenario mit Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen (entspricht MIN-Szenario mit Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen)**:**

Eine deutliche Reduzierung der HFKW-Nachfrage ergibt sich in diesem Szenario aus der Zunahme der Nachfrage nach Technologien und Verfahren ohne HFKW (MIN-Szenario). Es werden diejenigen technischen Optionen in die Reduktionsberechnung aufgenommen, bei denen die Vermeidungskosten weniger als 50 €/t CO_2 Äq. betragen und die sich nicht mit gleichartigen alternativen Optionen überschneiden.

Der spezifische Reduktionseffekt der umfassenden Umstellung auf Alternativen ohne HFKW ist viel größer, als derjenige der spezifischen R404A-Füllverbote.

Die Umstellung auf Alternativen (MIN-Szenario) führt, wenn sie auf die Nachfrage des REF-Szenarios mit Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen (REF+prechBan) bezogen wird, im Jahr 2030 zu einer Reduktion um 13,348 MT CO_2 Äq., und zwar auf ein Niveau von 5,804 MT CO_2 Äq. Die Nachfrage des Jahres 2030 macht noch etwa 29% des Ausgangswerts von 19,950 MT CO_2 Äq. (Durchschnitt 2008-2011) aus.

Weiterhin wurde eine nationale HFKW-Steuer als potentielle eigenständige Maßnahme sowie als flankierende Maßnahme zum EU Phase down bewertet.

Steuern sind prinzipiell ein geeignetes Instrument, um technisch leicht verfügbare Potenziale zur Vermeidung von F-Gas-Nachfrage zu heben. Als F-Gas- bzw. HFKW-Steuer wurde allgemein ein Aufschlag auf den Preis für diese fluorierten Treibhausgase verstanden, der es erlaubt, die Umweltauswirkungen dieser Substanzen stärker in die Kalkulation der Verbraucher einfließen zu lassen und so eine verhaltenssteuernde Wirkung auszuüben, der gleichzeitig aber auch neue Einnahmequellen für öffentliche Aufgaben erschließt. Eine solche Steuer kann als eigenständige nationale Maßnahme zur Verringerung der Nachfrage nach HFKW bzw. fluorierten Treibhausgasen konzipiert und implementiert sein. Dies wird durch Erfahrungen aus mehreren Länder gestützt, darunter Dänemark (in Verbindung mit Verboten seit 2001), Slowenien (Steuer seit 2009; derzeit Revision), Norwegen (seit 2003) sowie Australien (2012). In Spanien wurde eine Steuer auf F-Gase zum 01. Januar 2014 eingeführt. Die Eckdaten der Steuersysteme und Erfahrungen aus diesen Ländern wurden zusammengefasst und durch bisher nicht umgesetzte Planungen für nationale Steuern aus anderen Ländern (Schweden, Polen, Schweiz, Frankreich) ergänzt.

Anschließend wurden Ausgestaltungsmerkmale eines Besteuerungssystems für F-Gase/HFKW dargestellt. Eine F-Gas-Steuer soll vom Verbraucher getragen werden, aber aufgrund der Vielzahl der Verbraucher aus Effizienzgründen bei der deutlich geringeren Grundgesamtheit der Hersteller, Großhändler und/oder Importeure erhoben werden. Daher wurde sie mit der ähnlich gelagerten Energiesteuer verglichen, die in Deutschland schon seit vielen Jahren implementiert ist.

Weiterhin wurden Kostensteigerungen für Verbraucher in verschiedenen HFKW-Anwendungssektoren beispielhaft für einen Steuersatz von 20 €/t CO_2-Äq. ermittelt. Im Bereich der stationären Kälte liegen die Mehrkosten für die Kälteaggregate meist unter 2 %, bei Supermarkt-Kälte bei ca. 3 %. In der Mobilkälte liegen die Mehrkosten für die Kälteaggregate von Kühltransportern bei ca. 5%, bei den absolut deutlich relevanteren Kühl-LKW und Kühl-Containern jedoch deutlich unter 1%. Für Anwendungen der stationären Klimatisierung betragen die Mehrkosten für die Klimaaggregate generell weniger als 0,5 %. Die Mehrkosten bei Anwendungen der mobilen Klimatisierung liegen für die Klimaaggregate zwischen ca. 0,5 % (bei Schienenfahrzeugen) und 12 % (bei Passagierschiffen). Bei den absoluten Mehrkosten dominiert das Segment der Pkw-Klimaanlagen, wobei es sich um die Steuerlast der Erstbefüllung von Klimaanlagen mit HFKW-134a für den Export handelt. In allen Anwendungen erscheinen Ausnahmen nicht empfehlenswert.

Für den konkreten Fall einer **HFKW-Steuer in Deutschland als potentieller eigenständiger Maßnahme** wurde eine Grenzvermeidungskostenkurve für 2030 generiert, die die Nachfragereduktionen nach HFKW-Bulkware in verschiedenen Anwendungen und ihre entsprechenden Kosten in Deutschland zeigt. An dieser Kurve wurde die Wirkung einer Steuer auf HFKW in Höhe von 20, 30 und 40 €/t CO_2-Äq. bei einer vollen Durchleitung dieser Steuer ohne Ausnahmeregelungen dargestellt. Eine HFKW-Nachfragereduktion ergibt sich genau in der Höhe, in der die Grenzvermeidungskosten den Steuersatz erreichen. Die ermittelte Nachfragereduktion reicht von 8,5 MT CO_2-Äq. bei einer Steuerhöhe von 20 €/t CO_2-Äq. bis 11,1 MT CO_2-Äq. bei einer Steuerhöhe von 40 €/t CO_2-Äq. Für die verbleibende

Nachfrage mit höheren Grenzvermeidungskosten werden die Steuer bezahlt und entsprechende Steuereinnahmen generiert. Die Steuereinnahmen liegen je nach Steuerhöhe in einer Größenordnung von ca. 200 Mio. € pro Jahr (je nach Szenario wurden 162 bis 226 Mio. € für 2030 berechnet). Damit wäre das Steueraufkommen vergleichsweise gering. Trotzdem wäre zur Wahrung der Steuergerechtigkeit eine flächendeckende Kontrolle notwendig, was die Nettoeinnahmen weiter deutlich reduzieren würde. Der ausschließliche Einführungsgrund einer solchen Steuer wäre somit der politische Wille zum Klimaschutz.

Als Ergebnis des Vorhabens sollte eine F-Gas-Steuer als HFKW-Steuer implementiert werden, ohne Berücksichtigung von FKW und SF_6. Eine Steuer sollte auf die Produktion und den Import von Bulkware beschränkt werden, um den administrativen Aufwand überschaubar zu halten. Der Export von Bulkware sollte von der Steuerpflicht abgezogen werden. Die Steuer beträfe somit die in Verkehr gebrachte HFKW-Bulkware. Als Steuerpflichtige sollten Produzenten und Importeure von HFKW festgelegt werden. Als Bemessungsgrundlage eignet sich die Masse der in Verkehr gebrachten HFKW, umgerechnet in t CO_2-Äq. mit Hilfe der GWP_{100} des 4. IPCC Assessment Report.

Ausnahmen von der Steuer könnten für bestimmte Anwendungen erwogen werden. Insbesondere für Schaumanwendungen könnten Wettbewerbsverzerrungen mit ausländischen Importen zu befürchten sein. Da eine Besteuerung von importierten Produkten administrativ äußerst aufwändig wäre, könnten hier ergänzend spezifische Verbote für HFKW-haltige Schäume erlassen werden.

Die berechneten Steuerszenarien mit Steuersätzen von 20, 30 bzw. 40 €/t CO_2-Äq. würden zu erheblichen Rückgängen der HFKW-Nachfrage und HFKW-Emissionen im Vergleich zur Referenzentwicklung ohne weitere Maßnahmen führen. Eine HFKW-Steuer ist jedoch nicht ökologisch treffsicher, in dem Sinne, dass sie ein gewünschtes ökologisches Ziel genau erreicht. Durch Anpassung der Steuerhöhe (Trial-and-error-Prozess) kann ein gewünschtes Ziel genau erreicht werden, in der Praxis ist ein solcher iterativer Steueranpassungsprozess jedoch langwierig und rechtlich schwierig.

Die dynamische Anreizwirkung (Innovationswirkung), die langfristig die Kosteneffizienz erhöht, spielt eine wesentliche Rolle in der Bewertung. Angebotsseitig werden Investitionen in Innovation und die Entwicklung neuer klimafreundlicher Technologien dann angestoßen, wenn die Produzenten davon ausgehen können, dass die Nachfrage nach diesen Produkten/Anlagen in Zukunft steigen wird. Nachfrageseitig ist die Entscheidung für innovative Technologien wiederum davon abhängig, wie stark das Signal des politischen Instruments bei den Akteuren ankommt und wie langfristig und planbar es ausgelegt ist. Die Wirkkette für Innovationen im Bereich der HFKW, die über den Nachfrager (Endverbraucher oder Endkunden, Investor, Bauherr, Baustoffhandel o.ä.) zurück zum Anlagenbauer oder Entwickler von Produktionsanlagen reicht, ist dabei recht komplex und unterliegt der Gefahr, dass der Impuls nicht klar transportiert werden kann.

Um Innovation (Entwicklung neuer Technologiekonfiguration und breite Verfügbarkeit von bisher nur vereinzelt getesteten Technologiekonfigurationen) zu befördern, sind jedoch komplementäre Fördermaßnahmen sinnvoll, z.B. Forschungs- und Innovationsförderung, Information und Weiterbildung von Personal und Fachfirmen zu Alternativtechnologien ohne F-Gase, Bündelung von Know-How in Kompetenzzentren.

In Bezug auf Kosten für die Anwender und Verbraucher sind – in den modellierten Steuerszenarien (20, 30 bzw. 40 €/t CO_2-Äq.) – die Kosten für die zu zahlenden Steuern höher als die technischen Substitutionskosten. Die Steuern fallen in den Anwendungsbereichen an, in denen die HFKW-Substitution nicht möglich oder teurer als die Steuern wäre. Die technischen Kosten fallen in den Anwendungsbereichen an, in denen die Substitution günstiger wäre als die Steuern. Die durch die Steuer generierten Staatseinnahmen könnten für Forschungs- und Entwicklungsprozesse verwendet werden. Positive Innovationsimpulse auf jeder Wertschöpfungsstufe können im Rahmen einer Steuer dadurch erzielt werden, dass Minderungsaktivitäten zu einer Verringerung der Steuerbelastung führen und damit den Gewinn oder das verfügbare Einkommen der Akteure erhöhen. Damit stehen mehr Ressourcen für Forschung und Entwicklung zur Verfügung. Die Arbeitsplatzeffekte einer deutschen HFKW-Steuer wären im Saldo leicht positiv, in der Größenordnung von 2000 zusätzlichen Beschäftigten.

Im Anschluss an die Bewertung einer HFKW-Steuer als eigenständige Maßnahme wurde untersucht, wie eine solche **HFKW-Steuer als flankierende Maßnahme zu den vorgeschlagenen EU-weiten Mengenbeschränkungen für HFKW** (HFKW-Phase down) wirken würde.

Nach der Definition der Steuerpflichtigen ist der Aspekt der Steuerhöhe (variabler oder fixer Steuersatz) bei der Konzeption einer Steuer zu klären. Das Preissignal, das sich aus dem Phase down ergibt, spielt jeweils eine wichtige Rolle:

- Festlegen einer Preisuntergrenze bzw. variabler Steuersatz, wobei sich der in Deutschland gezahlte Steuersatz aus der Differenz zwischen Preisuntergrenze und dem Preissignal durch den Phase down ergibt. Ist das Preissignal durch den Phase down höher als die Preisuntergrenze, fällt der variable Steuersatz auf 0.
- Fixer Steuersatzes, wobei sich das gesamte Preissignal in Deutschland aus EU-weitem Preissignal durch Phase down und dem fixen Steuersatz in Deutschland zusammensetzt. Ist das Preissignal durch den Phase down gleich 0, so ist der fixe Steuersatz gleich dem gesamten Preissignal in Deutschland.

Es wurde untersucht, wie die beiden Varianten der Steuer (Preisuntergrenze oder fixer Steuersatz) wirken, wenn das Preissignal durch den Phase down stringent bzw. wenn es schwach ist.

Bei einem stringenten Phase down-Signal werden nahezu alle Minderungsmaßnahmen kosteneffizient durchgeführt. Eine fixe zusätzliche Steuer führt in Deutschland zu einer geringen zusätzlichen Nachfrageminderung, aber vor allem zu Steuereinnahmen.

Ist das Signal durch den EU-weiten Phase down schwach, in dem Sinne, dass nicht wie im Falle des stringenten Signals bereits viele der kostengünstigen Minderungsmaßnahmen im flacheren Bereich der ansteigenden Grenzkostenkurve durchgeführt werden, gibt eine Steuer (als Preisuntergrenze oder fix) die Gelegenheit, weitere Minderungspotenziale in Deutschland zu erschließen.

Eine ergänzende Steuer in Deutschland (oder einem anderen Land) bewirkt EU-weit allerdings nicht, dass zusätzlich HFKW-Nachfrage vermieden wird. Die zusätzliche Minderung findet einzig in dem Land statt, in dem die Steuer gültig ist. Jede in Deutschland zusätzlich geminderte Tonne würde anderswo in der EU zusätzlich

nachgefragt werden können, da die Mengenbeschränkungen keine spezifische HFKW-Menge für Deutschland vorsehen.

Auf kurze Sicht beeinträchtigt eine Steuer, die zusätzlich zum Phase down eingeführt wird, die Kosteneffizienz dieses Instruments sowie eventuell die Wettbewerbsfähigkeit einiger Unternehmen. Allerdings hat sie das Potenzial, auf längere Sicht mehr Sicherheit für Investitionen in Vermeidungstechnologien zu geben, die zu höherer Kosteneffizienz deutscher Unternehmen und höherer Wettbewerbsfähigkeit führen kann. Voraussetzung für die Innovationswirkung der Steuer über den Phase down hinaus ist allerdings, dass einerseits das Preissignal durchgeleitet wird und Nachfrageänderungen hervorruft und andererseits diese Nachfrageänderung einen Impuls für Innovationen auf der Angebotsseite geben können. Dieser Mechanismus kann durch Informationskampagnen auf der Nachfrageseite und staatliche Investitionen in F&E auf der Angebotsseite unterstützt werden.

Eine Kombination von nationalen Steuern in Deutschland mit einem EU Phase down führt EU-weit grundsätzlich nicht zu zusätzlichen Reduktionen der HFKW-Nachfrage, da die EU-weite Minderungsmenge durch das Phase down-Budget festgelegt ist. Es sei denn, viele andere EU-Staaten führen ähnliche Steuern ein.

Nach den durchgeführten Modellrechnungen ist aber für den aktuell vorgeschlagenen EU Phase down-Fahrplan ein starkes Preissignal in der Größenordnung von 30 €/t CO_2-Äq zu erwarten, und zwar ab 2017 oder ab 2021 (je nach endgültiger Definition der EU-Baseline 2008-2011). Da die vorgeschlagenen Reduktionsstufen für HFKW-Mengen das technische Potenzial zur Reduzierung der Verbrauchsmengen in Deutschland bereits weitgehend abdecken, wird eine Steuer als zusätzliche Maßnahme kaum weitere Potenziale zur Verringerung von HFKW-Nachfrage und Emissionen erschließen. Vor diesem Hintergrund erscheint eine zusätzliche nationale Steuer für einen Zeithorizont ab 2020 wenig zielführend. In den allerersten Jahren des Phase down, wo noch kein starkes Preissignal zu erwarten wäre, könnte eine Steuer jedoch als deutliches Kommunikations- und Lenkungsinstrument dienen, um Investitionsentscheidungen im Sinne einer HFKW-Substitution zu beeinflussen.

Weiterhin wurden Verbote als mögliche weitere Maßnahmen betrachtet. Die im ursprünglichen Vorschlag vom November 2012 enthaltenen Verbote umfassten Inverkehrbringungs- und Verwendungsverbote für F-Gase in bestimmten Produktgruppen sowie ein Nachfüllverbot für Kältemittel mit hohem GWP und das Vorbefüllungsverbot.

Weitere Verbote wurden im Laufe der Verhandlungen zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung immer wieder von verschiedenen Anspruchsgruppen gefordert, auch um eine stringente Implementierung des EU Phase down zu sichern. Eine Voraussetzung für ein Verbot ist grundsätzlich, dass die mögliche Marktdurchdringungsrate der Alternativen im Jahr des Verbotsbeginns bei 100% liegt. Für einige Anwendungen können im Zeitraum bis 2030 diese Voraussetzungen erfüllt werden, so dass ein HFKW-Verbot ab einem bestimmten Jahr möglich ist.

Nationale Verbote zusätzlich zum Phase down sind aber aus rechtlichen Gründen schwierig und aufgrund des derzeit ambitionierten Entwurfs für die F-Gase-Verordnung nicht zu rechtfertigen. Sie könnten allenfalls bei einer deutlichen Abschwächung des Entwurfs erwogen werden. Grundsätzlich kommen nationale Inverkehrbringungsverbote in Ergänzung zu Verboten auf europäischer Ebene bei folgenden Anwendungen in Frage, wobei zum Teil hohe Vermeidungskosten auftreten:

In der XPS- und PU-Schaumproduktion und bei der Klimatisierung von Bussen, Nutzfahrzeugen, Schiffen und Schienenfahrzeugen.

Daneben wäre auch denkbar, europäische Verbotselemente, die bestimmte GWP-Grenzwerte für Kältemittel vorschlagen, zu verschärfen: Das vorgeschlagene Verbot des Inverkehrbringens von Einrichtungen mit Kältemittel mit GWP≥2500 (Erstfüllungsverbot) könnte abgewandelt mit einem niedrigeren Grenzwert versehen werden oder früher in Kraft treten.

Verbote sind auch als ergänzende Maßnahmen zu nationalen Steuern denkbar (Kapitel 4.3.5) und können parallel als Lenkungsmaßnahme eingeführt werden. In Deutschland würden sie vor allem im Schaumsektor bei hohen Umstellungskosten starke Wirkung entfalten.

Einige weitere Maßnahmen sind im Hinblick auf ihre Eignung zur Minderung von Emissionen fluorierter Treibhausgase identifiziert worden, vor allem vor dem Hintergrund des EU-weiten Phase down von HFKW. Hierzu zählen Forschung, Information und Weiterbildung, Fördermaßnahmen sowie die Beteiligung an der Gestaltung von Normen und Standards. Sie können in Ergänzung zu anderen Maßnahmen oder auch eigenständig umgesetzt werden.

Als besonders sinnvoll werden solche Maßnahmen erachtet, die aus den Einnahmen für andere politische Maßnahmen wie etwa Steuern oder Gebühren für Quoten im Zuge des Phase down finanziert werden. Solche Mittel sollten dann unbedingt in weitere nicht-regulatorische Maßnahmen investiert werden, um die Akzeptanz des Maßnahmenpaketes zu verbessern.

Summary

Background and objectives of the project

Emissions of fluorinated greenhouse gases (so called F-gases) are subject to the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. The use of F-gases, which were mainly developed as substitutes for ozone-depleting substances, has steadily grown in recent decades, which has resulted in an increase of emissions.

At European level, first measures to reduce F-gas emissions were set out in the so called F-gas Regulation (EC) No. 842/2006 as well as Directive 2006/40/EG (the so-called MAC-Directive).

An evaluation of the implementation of the F-gas Regulation has been published by the European Commission in September 2011. It concluded that the measures taken so far will only lead to a stabilization of the F-gas emissions in the upcoming decades because many sectors of application are poised to grow significantly. It was found that additional measures are necessary to achieve a reduction of F-gas emissions. Hence a review of Regulation (EC) No. 842/2006 was recommended and subsequently initiated.

A first draft of a new regulation has been published by the EU Commission in November 2012. Therein, further measures are proposed which can roughly be divided into three types:

- Stepwise reduction of quantities of partially fluorinated hydrocarbons (HFCs) placed on the market;
- Bans of the use and of the placing on the market of F-gases;
- Continuation and complementation of current rules on leakage checks, certification, end-of life treatment and labelling.

In view of the review of the F-gas Regulation, the following tasks were carried out within this project:

- Identification of barriers for and potential of halogen-free substances and/or technologies in different applications;
- In general, modelling and evaluation of the various measures for the reduction of emissions of fluorinated greenhouse gases in a number of scenarios;
- An assessment of national taxes on F-gases as a stand-alone solution and to supplement the EU-wide phase down.

Barriers and potential

Barriers to the market penetration of halogenfree substances/technologies were analysed in a literature review. Barriers were classified according to the following types:

- Economic barriers
- Technological barriers
- Lack of information/ knowledge/ acceptance
- Lacking or inadequante standards/ regulations
- Lack of availability

Besides a general evaluation, barriers in important F-gas applications were analysed in detail. These applications include commercial refrigeration, foams and stationary air conditioning, the latter consisting of room air conditioners and chillers.Barriers for

further market penetration of alternatives, an assessment of their relevance and potential measures to overcome the barriers are presented for these main applications.

Methods for modeling and assessment of measures to reduce emissions

The measures considered during this project include

- **Market-based instruments:** EU-wide restrictions on the placing on the market of HFCs (phase down) and the impacts on Germany in the context of country-specific measures for reductions of the use of HFCs. A national HFC tax was analysed as a national measure complementary to the phase down and as a national measure on its own.
- **Bans regarding the use of HFCs:** Several bans on F-gases at a European level were discussed during the review of the F-gas Regulation. These proposed bans were considered as part of the project.
- **Further measures:** potential further measures were investigated with regard to their potential to reduce F-gas emissions. These measures include research, information and training, funding and participation in the development of norms and standards.

The modeling of these measures was mainly based on a German F-gas model, which has been developed in analogy to the caclulation methods for the EU (AnaFgas model). In contrast to the AnaFgas model the data was more detailed and took into account country-specific differences; German legislation was integrated in addition to European legislation.

Two scenarios were created as generic scenarios for the time period until 2030 in order to illustrate and analyse the measures discussed:

- The **reference scenario (REF)** projects the development of F-gas use and emissions for the 28 HFC sectors analysed in this study. It contains assumptions on the effects of the European F-gas Regulation, the MAC-Directive and the Chemicals Climate Protection Ordinance (ChemKlimaschutzV). This scenario is not a business-as-usual scenario because some measures have already been implemented.
- The **scenario on the minimum HFC use/ minimum HFC emissions (MIN)** projects decreases of use and emissions. It presents the switch to alternatives to HFCs. Reductions of the demand for HFCs result from the increasing demand for non-HFC substances and technologies according to the penetration rates of the model. These market penetration rates were estimated by experts during this project and in the course of the work for a study for the EU Commission. The technical options for substitution of HFCs and their market penetration rates in the years 2015, 2020 and 2030 are contained in the scenario. The abatement costs serve as a criterion for the selection of alternatives without HFCs if more than one option is technically and financially feasible ("penetration mix"). The total of measures not excluded because of high abatement costs in all applications determines this scenario.

The phase down and national HFC taxes are illustrated in measures scenarios which fall between the two generic scenarios (REF scenario and MIN scenario). The effects were quantified on the basis of sectoral data. The scenarios illustrating measures are the phase down scenario (PD) that contains the EU HFC-phase down in Germany and the tax scenario (ST), which highlights the proposed taxation of HFC quantities.

The model is based on the GWP_{100} values of the 4th IPCC Assessment Report. Concerning the impacts if the 2006 F-gas Regulation and the German Chemicals-Climate Protection-Act, it was assumed that the emission rates of stock emissions and disposal

emissions would gradually decrease in all applications from 2011 to 2020 by 30% compared to historic time series .

The scenarios related to HFCs only, not to SF_6 or PFCs. No measures for these gases only were integrated in the scenarios. For the generic scenarios REF and MIN, different assumptions on the technical development, on costs and emissions were made for the period until 2030 and are described in the annex (Chapter 7.1).

In the REF and MIN-scenarios the development of HFC demand and HFC emissions were modeled. In both scenarios, the HFC demand amounts to 20,854 kt CO_2-eq. in 2014. According to the increasing market penetration of alternative technologies, the HFC demand sinks to 5,738 kt CO_2-eq. in the MIN scenario (27.5% of the HFC demand of the year 2014). HFC emissions of all applications amount to 10,967 kt CO_2-eq. in both scenarios of the model. In the MIN scenarios, emissions decrease to 3,159 kt CO_2-eq. in 2030 (29% of HFC emissions of the year 2014).

REF and MIN scenarios can be generated separately for each sector in the model. The graphs for HFC demand and HFC emission differ from sector to sector, because the assumptions for the substitution of HFCs vary on the different applications according to the introduction of alternatives.

The surveys for the EU-27 and the methods of the work for the AnaFgas model by Öko-Recherche were taken into account for the assumptions on alternatives and estimates of market penetration rates. For the main applications, external expertise was integrated by means of several expert group meetings.

An ecological and economic assessment was performed on the basis of the model output. Some of the results for the EU could be transferred to Germany. The evaluation included the following parameters:

- Emissions / emission reductions 2030
- F-gas demand (use) 2030
- Costs for the users of F-gases (and those of F-gas substitutes)
- Costs for the end users
- Expected tax revenues
- Impacts on employment by 2030.

This analysis was carried out on the example of one representative HFC system for each of the 28 application sectors. An HFC-based reference technology and one or several HFC-free alternatives were defined for each application sector. For each alternative technology, emission abatement costs in 2030, demand abatement costs in 2030 were calculated (both given in €/t CO_2-eq. and in comparison to the reference technology of the application sector).

The use of an alternative in an application sector is called a single measure. This is the case from the time of the technical availability (scenarios MIN, EU PD and ST) onwards or when 100% of alternatives are available for this sector, respectively. For each single measure, HFC emission reduction and HFC demand reduction in 2030 were calculated in comparison to the REF-scenario in 2030. The sum of the single measures within all application sectors form the MIN scenario (cost threshold at 50 €/t CO_2-eq.). The reduction potentials of single measures in 2030 were sorted by demand abatement costs and an abatement cost curve for 2030 was constructed in this way.

The demand abatement cost curve then served as a decision tool for any given tax level: it was possible to identify which measures/ alternatives are cheaper than maintaining the reference technology and paying the tax. The implementation of the identified single measures/alternatives was assumed.

A scenario on bans was not modeled but is described qualitatively. Bans were assumed for applications in which alternatives reach a market penetration rate of 100%.

The analysis of impacts on employment was accomplished by means of the Employment Input Output model (EmMIO) of the Öko-Institut via a comparative and static determination of the effect of demand-impulses on the German economy.

Measures for F-gas emission reductions in Germany

At the beginning of this extensive part of the study, an overview of the measures discussed during the review of the F-gas Regulation is provided. The measures differ in several aspects from the ones contained in the original review proposal of November 2012.

The following measures in the review proposal predominantly determine the HFC demand:

- Bans of refill and first fill of HFCs with a GWP > 2,500 from 2020 on: In practice these bans relate mainly to refrigeration systems running on the very common refrigerant R404A (GWP 3,922) and R507 (3,985). Reclaimed refrigerant quantities with GWP > 2,500 can be refilled until 2025.
- Ban on imports of precharged equipment: Such a ban relates to stationary refrigeration and air conditioning equipment and heat pumps which can no longer be placed on the market after 2018. All equipment for use within Germany has to be charged with HFCs in Germany.
- Restrictions on the HFC amounts placed on the market in Europe (phase down): A plan for the step-wise reduction of the maximum HFC amount placed on the market formulates a reduction to only 21 % by 2030 (compared to 100 % in 2015). The reduction steps relate to the original amount (in CO_2-eq.). The original amount (baseline) is determined via the average amount of HFCs produced in the EU or imported into the EU annually between 2008 and 2011. This refers to the bulk quantities of HFCs only (in CO_2-eq.).

Further measures which influence the HFC demand to a smaller extent are bans for the placing on the market of certain systems containing HFCs (e.g. fire protection equipment and systems, domestic refrigeration and freezing equipment).

The results from the modeling of these measures for Germany are presented and uncertainties of the methods applied are discussed in Chapter 4.2. The HFC demand in Germany in REF and MIN scenario and the reduction scheme for the phase down according to the proposal of the EU Commission are presented.

A baseline of 170 MT CO_2-eq. (100%) was assumed for EU-wide restrictions of the HFC supply. This relates approximately to the annual quantities sold in the EU in the period 2008-2011. Out of the total EU baseline the share of the demand required by Germany amounts to approximately 12 % (20.6 MT CO_2-eq. out of 170 MT CO_2-eq.). Stable long-term demand for HFCs as illustrated by the REF scenario would account for about half of the remaining HFC quantities in the EU in 2030. By means of the measures of the MIN scenario, the HFC demand in Germany can be reduced signifi-

cantly to 5.7 MT CO_2-eq., which is about 16% of the quantities available in EU-27 in 2030 (5.7 MT CO_2-eq. out of 35.7 MT CO_2-eq.).

To illustrate this, the measures mentioned above were compared to the REF scenario. Application-specific adjustments in the sectors concerned were integrated.

The following variations of the scenarios were modeled:

REF scenario plus ban on placing on the market of precharged equipment from 2018 on: The ban on the placing on the market leads to an increase of the national demand for bulk HFC quantities in the refrigeration and air conditioning sectors concerned (single-split air conditioners, multisplit air conditioners, chillers, heat pumps (heating only), transport refrigeration). In the mobile air conditioning sectors, the ban results in a slight decrease of the HFC demand (heavy-duty vehicles, buses). For air conditioning systems in passenger cars and small heavy-duty vehicles, the rules of the MAC-Directive apply which do no longer allow the charging with R134a of vehicles produced in and imported into the EU from 2017 onwards. Nevertheless, vehicles exported to non-EU countries will continue to be charged with R134a when this refrigerant is not subject to bans in the respective country.

For this variation, differences to the REF scenario occur only from 2017 onwards. The HFC demand rockets in 2017 and remains constant after 2020. In 2030, the demand is higher than that in the REF scenario, by 2,453 kt CO_2 eq (+ 15 %).

REF scenario plus ban on first fill and refill with R404A from 2020 on: This ban refers to the commercial and industrial refrigeration sectors of the model. For simplification, it is assumed that, in practice, a refill ban for R404A results in a conversion of the systems to the thermodynamically comparable refrigerant blends R407A (GWP: 2,107) and R407F (GWP: 1,825). Reductions of the HFC demand are caused in the two following ways: As a consequence of a) the first fill ban with R404A for stationary refrigeration systems from 2020 on ("placing on the market prohibition for equipment that contains HFCs with GWP of 2,500 or more") and b) the refill ban with R404A from 2020 on ("control of use of F-gases with GWP > 2,500 to service equipment with charge size > 40 t CO_2 eq.") the HFC demand decreases sharply from 2020 onwards (by approximatley 2.5 MT CO_2-eq.) and remains stable at this lower level until 2030. Reclaimed quantities of R404A, which may be used for refill of existing systems until 2025, do not count as HFC demand. By limiting the period for refill with recovered R404A until 2024, the demand for R407A/F increases sharply from 2025 on as these substances are then used for the conversion of remaining R404A refrigeration systems.

Use of alternative technologies and impacts on HFC demand in the REF scenario plus ban on placing on the market of precharged equipment (MIN scenario plus placing on the market ban for precharged equipment)

A significant reduction of the HFC demand in this scenario is based on the increasing demand for alternative technologies without HFCs (MIN scenario).

Only technical options available at abatement costs below 50 €/t CO_2-eq. and different types of technical alternatives were included in the calculation of demand reductions.

The specific impact of the comprehensive introduction of non-HFC alternatives is much higher than the impact of the bans of R404A for first fill and refill. Compared to the demand of the REF scenario plus placing on the market ban for precharged equipment (REF+prechBan), the use of alternatives leads to a reduction by 13.348 MT

CO_2-eq. to 5.804 MT CO_2-eq. in 2030. The demand in 2030 still accounts for approximately 29% of the baseline of 19.950 MT CO_2-eq. (annual average of 2008-2011).

Furthermore, a national tax on HFCs was assessed as a potential measure on its own and as a measure accompanying the EU phase down.

In principle, **taxes** are a suitable policy instrument to reach potentials for HFC demand reductions that are technologically readily available. An F-gas tax or HFC tax was generally understood as an artificial increase of the price for fluorinated greenhouse gases that allows consumers to better take into account the environmental impacts of the substances. This accordingly is meant to change consumer behavior and, at the same time, generate additional for public funds. Such a tax can be designed and implemented as a national measure on its own to reduce the demand for HFCs/ fluorinated greenhouse gases. This can be shown by referring to examples from several countries including Denmark (tax and bans since 2001), Slovenia (tax since 2009; currently under revision); Norway (since 2003) and Australia (since 2012). In Spain a taxation of F-gases has been introduced on 1 January 2014. Facts on these taxes and experiences made in the countries were summarized and are complemented by tax concepts from other countries that have not yet been introduced (Sweden, Poland, Switzerland, France).

Moreover, cost increases for consumers were calculated for several HFC applications with an example tax level of 20 €/t CO_2-eq. For the stationary refrigeration sectors additional costs lie below 2 %, for supermarket refrigeration systems they amount to about 3 %. With respect to mobile refrigeration, additional costs for the refrigeration systems of refrigerated vans amount to approx. 5 %;for refrigerated trucks and containers, which are more relevant in absolute numbers, additional costs of below 1 % occur. For stationary air conditioning applications additional costs are below 0.5 %. The additional costs range between 0.5% (rail vehicles) and 12% (passenger and seagoing ships) with respect to mobile air conditioning sectors. The subsector of air conditioning in passenger cars shows the highest additional costs. These relate to the tax on HFC-134a for first fill of export vehicles. Exemptions from the tax are not recommended for any application.

For the case of an **HFC tax in Germany as a potential measure on its own**, an abatement cost curve for 2030, which shows reductions for the demand of bulk quantities of HFCs in different applications, and associated costs in Germany have been generated. The effects of an HFC tax of 20, 30 and 40 €/t CO_2-eq. are highlighted by this curve when no exemptions apply. The reduction of HFC demand roughly equals the point where the abatement costs reach the tax level. The modeled demand reduction amounts to 8.5 MT CO_2-eq. at a tax level of 20 €/t CO_2-eq. to 11.1 MT CO_2-eq. at a tax level of 40 €/t CO_2-eq. The tax has to be paid for the remaining demand for which abatement costs are higher. In this way, tax revenues are generated which amount to about 200 Mio € per year depending on the tax level (162-226 Mio € were calculated for 2030 in different scenarios). The tax revenue would thus be relatively low. However, comprehensive controls that cover the entire country would be required to maintain tax equity. This would further reduce the net revenue. The only reason for the introduction of such tax would therefore be the political will to protect the climate.

The results of this study recommend the implementation of an F-gas tax in the form of an HFC tax which does not take into account PFCs and SF_6. Such a tax should also be restricted to the production and import of bulk substances in order to reduce adminis-

trative efforts. Export of bulk substances should not be subject to taxation. The tax would then cover HFC bulk quantities placed on the market. Producers and importers of HFCs should be identified as taxable enitities. HFC quantities placed on the market and expressed in t CO_2 equivalents according to the GWP values of the 4th IPCC Assessment Report should serve as a basis for taxation.

Exemptions from the tax could be considered for certain applications. In particular for foam applications distortions of competition could occur on the market due to imports from abroad. As the taxation of imported products would lead to high administrative efforts, a product ban of foams containing HFCs could be imposed as a complementary measure.

The tax scenarios calculated with tax levels of 20, 30 and 40 €/t CO_2-eq. would lead to significant decrease of HFC demand and HFC emissions compared to the reference scenario without further measures. An HFC tax, however, does not necessarily fulfill an exact environmental objective. Through adjustments of the tax level (trial and error period), a specific objective can however eventually be accomplished. In practice such iterative adaptation processes are tedious and legally challenging.

The dynamic innovation effect, which results in increased cost efficiency in the long term, plays a significant role in the assessment. On the demand side, investments in innovation and the development of new climate-friendly technologies are triggered when producers can rely on increasing demand for these products and systems in the future. On the supply side, the adoption of innovative technology depends on the political signal perceived by the actors in the long term. The functional chain for innovations in the area of HFC applications is rather complex and incorporates the risk that the impulse cannot be transmitted clearly.

In order to support innovation (development of new technologies and large-scale availability of technologies that exist as prototypes today), complementary funding measures are useful, e.g. grants for research and innovation, information and training of personnel and companies on alternatives without F-gases, the creation of competence centers.

In the modeled tax scenarios (20, 30 and 40 €/t CO_2-eq.), the amount of taxes to be paid exceeds the cost of alternative technologies for users and consumers. Taxes are charged in applications for which substitution of HFCs is not possible or more expensive than the tax. The technological costs occur in applications for which substitution is cheaper than the tax. The tax revenue could be used for research and development. Positive impulses throughout the functional chain of HFC demand could be generated in a way that allows abatement activities to lead to reduced taxes and thus increased profits of the actors. This would again free more resources for research and development. The impacts on employment would be slightly positive and generate around 2,000 additional jobs.

In addition to the assessment of an HFC tax as a measure on its own, it was analyzed how such an HFC tax would work in addition tothe proposed EU phase down.

For the design of a tax scheme it is important to define a tax rate (variable or fixed rate) in addition to defining the taxpayers. The price signal created by the European phase down plays an important role in each case:

- Determination of a lower price limit/ variable tax rate: The rate to be paid in Germany is based on the difference between the lower price limit and the price signal caused by

the phase down. If the price signal of the phase down is higher than the lower price limit, the variable tax rate is zero.

- Fixed tax rate: The price signal is determined by the EU-wide price signal from the phase down and the fixed tax rate in Germany. If the price signal of the phase down amounts to zero, the fixed rate represents the price signal in Germany.

It has been analyzed how these variations of the tax (lower price limit or fixed rate) behave when the price signal of the phase down is strong and when it is weak.

In case of a strong phase down signal almost all abatement measures are implemented in a cost-effective way. An additional tax at a fixed rate on top would lead to low additional abatement but to increased tax revenue.

In case of a weak phase down signal, which essentially means that not many of the cheap abatement measures can be implemented in the lower part of the cost curve, a tax (with a lower price limit or at a fixed rate) provides the possibility to access further reduction potentials in Germany.

However, a complementary tax in Germany (or in another country) does not necessarily lead to additional abatement in the EU overall. Additional abatement activities only take place in the country where the tax has been implemented. Each tonne additionally abated in Germany could result in increased demand somewhere else in the EU because the phase down does not provide for quantities used explicitly in Germany.

In the short term, a tax introduced in addition to the phase down would have a negative impact on the cost efficiency of this instrument as well as the competitive capacity of some companies. In the long run, however, it would have the potential for safe investments into abatement technology. This would again lead to higher cost efficiency of German companies and increased competitive capacity. Preconditions for the tax in addition to a phase down are, first, that the price signal is passed through and causes changes on the demand side and, secondly, that these changes trigger an innovation at the supply side. This mechanism can be supported through information campaigns on the demand side and investments by the government in research and development on the supply side.

The combination of a national HFC tax in Germany and an EU-wide phase down does not generally result in an additional HFC demand reduction in Europe because the reduction is defined by the phase down budget. This is only the case if many other EU countries implement a similar tax.

According to the model calculations, a strong price signal for the proposed phase down schedule of approx. 30 €/t CO_2-eq. from 2017 or 2020 onwards can however be expected (depending on the definition of the EU baseline 2008-2011). As the proposed reduction steps for HFCs already cover the technologically feasible reduction of HFC demand in Germany to a large extent, a tax would hardly open up new potential for the reduction of HFC demand and emissions. Hence, an additional tax for the time period from 2020 onwards seems not constructive. During the first years of the phase down, however, when a strong price signal cannot yet be expected, a tax could serve as a communication and steering instrument influencing investment decisions for HFC substitution.

Furthermore, bans were investigated as potential further measures. The bans contained in the original proposal of November 2012 relate to bans on placing on the

market and use of F-gases in certain product groups, restrictions for refill with high GWP refrigerants and a ban on precharging of equipment.

Throughout the negotiations for the review of the F-gas Regulation, different stakeholder groups repeatedly called for further bans in order to support the implementation of the European phase down. In general, a precondition for a ban is that the market penetration rate of alternatives amounts to 100% in the year when a ban is introduced. For some applications, this can be reached in the period until 2030 which would then allow for further bans.

Bans at a national level and in addition to the phase down are difficult to implement for legal reasons and can hardly be justified in view of the rather ambitious draft proposal for a revised F-gas Regulation. They could be reconsidered only in case of a significantly weaker proposal. In general, national bans for the placing on the market in addition to European bans would be possible for the following applications, although featuring high abatement costs in some cases: XPS and PU foam production and air conditioning of buses, heavy-duty vehicles, ships and rail vehicles.

Besides, the strengthening of certain elements of European bans which include GWP-based limits for refrigerants could be considered: The proposed ban on first fill of refrigerants with GWP > 2,500 could be enhanced by a lowering the GWP limit or by introducing an earlier date of entry into force.

Bans are also possible as measures complementing national taxes (Chapter 4.3.5) and could be introduced in parallel as additional steering tools. In Germany, they would deliver a high impact mainly in the foam sector due to high substitution costs.

Further measures for emission reductions of F-gases were identified, in particular in view of the European phase down. These include research, information and training, funding measures as well as the participation in standardization processes. The measures can be implemented on their own or complementary to other measures.

Measures are deemed particularly useful when they are funded through the revenue of other policy measures such as taxes or fees for quotas within the phase down. Such resources should be used for further non-regulatory measures to improve the acceptance of the entire policy package.

1 Hintergrund und Zielsetzungen

1.1 Ziele des Vorhabens und Inhalte des Berichts

Vor dem Hintergrund der Revision der europäischen Verordnung (EG) Nr. 842/2006 sind die Ziele des Vorhabens

- die Identifizierung von Barrieren und Chancen für halogenfreie Stoffe und/oder Technologien ohne halogenierte Stoffe in verschiedenen Anwendungen sowie übergreifend,
- die Bewertung von im Zusammenhang mit der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase vorgeschlagener/diskutierter Maßnahmen und
- die Diskussion von nationalen Steuern und deren Einführung in Deutschland.

Der vorliegende Bericht umfasst:

- Eine Einleitung zu gesetzlichen Vorgaben in Deutschland und in der EU und den Zielen dieses Vorhabens in diesem Kapitel (Kapitel 1).
- Im Kapitel 2 eine Übersicht von Barrieren und Chancen für den Einsatz von halogenfreien Alternativen mit Bewertung.
- Im Kapitel 3 die Beschreibung von Methoden für die Modellierung und Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen fluorierter Treibhausgase.
- Im Kapitel 4 werden zunächst die Maßnahmen des EU-Vorschlags vom November 2012 sowie einige Varianten, die sich Mitte 2013 in Diskussion befanden, dargestellt. Anschließend werden die Ergebnisse der Modellierung dieser Maßnahmen präsentiert. Es folgen Überlegungen zu HFKW-Steuern als eigenständige und flankierende Maßnahmen im Zusammenhang mit dem EU-Vorschlag sowie Ausführungen zu Verboten und zu weiteren möglichen Maßnahmen.
- Kapitel 5 beinhaltet Schlussfolgerungen und einen Ausblick.

1.2 Hintergrund und gesetzliche Regelungen in Deutschland und Europa

Die Emissionen zahlreicher fluorierter Treibhausgase (sogenannter F-Gase) werden wegen ihres hohen Treibhauspotenzials von dem Kyoto Protokoll erfasst. Die Verwendung der F-Gase, die unter anderem als Ersatzstoffe für ozonschichtschädigende Substanzen entwickelt wurden, hat in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen und zu steigenden Emissionen geführt.

Auf europäischer Ebene wurden erste Maßnahmen zur Verringerung der F-Gas-Emissionen getroffen, wie etwa der Erlass der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 (die so genannte F-Gase-Verordnung) und der Richtlinie 2006/40/EG über Fahrzeugklimaanlagen (MAC-Richtlinie).

Die F-Gase-Verordnung enthält folgende Maßnahmen zur Emissionsminderung:

- Weiterbildung und Zertifizierung von Servicepersonal in den Sektoren stationäre Kälte- und Klimatechnik, Automobilklimaanlagen, Brandschutzsysteme, Lösemittel und Hochspannungsschaltanlagen;
- Unternehmenszertifizierung in den Sektoren stationäre Kälte- und Klimatechnik sowie Brandschutzsysteme;
- Reduzierung der Emissionen aus ortsfesten Kälte- und Klimaanlagen sowie Wärmepumpen und Brandschutzsystemen durch vorgeschriebene Kontrollen auf Dichtheit und Reparatur von Leckagen durch zertifiziertes Personal;

- Rückgewinnung fluorierter Treibhausgase aus stationären und mobilen Anlagen und Systemen durch zertifiziertes Personal;
- Berichterstattung über die Mengen produzierter, importierter und exportierter fluorierter Treibhausgase je Kalenderjahr;
- Kennzeichnungspflicht für eine Reihe von Produkten und Systemen, die fluorierte Treibhausgase enthalten;
- Verbote der Verwendung von F-Gasen in verschiedenen offenen Anwendungen;
- Verbote des Inverkehrbringens einiger Produkte, die fluorierte Treibhausgase enthalten.

Ein Bericht über die Bewertung der Erfolge der F-Gase-Verordnung wurde von der Europäischen Kommission (EU-Kommission) im September 2011 vorgelegt[3]. Es wird darin festgestellt, dass die bisherigen Maßnahmen in den nächsten Jahrzehnten nur zu einer Stabilisierung der F-Gas-Emissionen führen werden, da viele Anwendungssektoren deutlich wachsen werden. Weitere Maßnahmen sind demzufolge erforderlich, um eine Reduzierung der Emissionen fluorierter Treibhausgase zu erreichen.

Einen ersten Entwurf für eine neue Verordnung hat die EU-Kommission im November 2012 veröffentlicht[4]. Darin werden zusätzliche Maßnahmen vorgeschlagen, die eine starke Reduzierung der Emissionen fluorierter Treibhausgase erwarten lassen (siehe 1.3). In der anschließenden Diskussion, die in dieser Studie bis Mitte 2013 verfolgt wird, wurden einige vorgeschlagene Maßnahmen verändert, was schließlich in die endgültige Fassung der F-Gase-Verordnung vom April 2014 mündete.

In Deutschland werden die Regelungen der europäischen F-Gase-Verordnung (EG) Nr. 842/2006 durch die Chemikalien-Klimaschutzverordnung (ChemKlimaschutzV) umgesetzt und in einigen Punkten verschärft. So sieht die ChemKlimaschutzV für ortsfeste Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen nach Lebensalter und Füllmengen der Anlagen gestaffelte Höchstgrenzen für jährliche Kältemittelverluste im Normalbetrieb vor. Weiterhin unterliegen auch einige mobile Kälteanwendungen wie bestimmte Kühlfahrzeuge den Dichtheitskontrollen, welche die EU-F-Gase-Verordnung nur für stationäre Systeme vorsieht.

1.3 EU-Vorschlag zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung[5]

Die unter der Leitung von Öko-Recherche für die EU-Kommission durchgeführte Studie[6] zur Überprüfung der Wirksamkeit und Vorbereitung einer eventuellen

[3] EU-Kommission: Report from the Commission on the application, effects and adequacy of the Regulation on certain fluorinated greenhouse gases (Regulation (EC) No 842/2006). Dokument-Kennung: COM(2011) 581 final.
http://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/docs/report_en.pdf (20.02.2013)

[4] EU-Kommission: Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über fluorierte Treibhausgase. Dokument-Kennung: COM(2012) 643 final.
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0643:FIN:DE:PDF.
Die endgültige Neufassung wurde als Verordnung (EU) Nr. 517/2014 im April 2014 verabschiedet.

[5] Die endgültige Fassung der überarbeiteten F-Gase-Verordnung wurde als Verordnung (EU) Nr. 517/2014 im April 2014 verabschiedet, nachdem die vorliegende Studie im Wesentlichen abgeschlossen war. Unterschiede zwischen dem Vorschlag vom November 2012 und der Endfassung vom April 2014 werden in Absatz 1.4 erörtert.

[6] 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.: Preparatory study for a

Revision der F-Gase-Verordnung zeigte, dass die bisherigen Maßnahmen im besten Fall zur langfristigen Stabilisierung der Emissionen fluorierter Treibhausgase auf hohem Niveau in der EU führen werden. Weitere Maßnahmen auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene sind daher zur langfristigen Emissionsminderung erforderlich. Diese Ergebnisse flossen in den bereits oben erwähnten Bericht der EU-Kommission vom September 2011 ein, welcher weitere Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen fluorierter Treibhausgase empfiehlt.

Der Entwurf der EU-Kommission zur Revision der F-Gase-Verordnung wurde am 07.11.2012 vorgestellt.

Die darin enthaltenen **Maßnahmen** können in drei Maßnahmen-Pakete geordnet werden:

- Schrittweise Beschränkung der auf dem Markt verfügbaren Mengen an teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW);
- Verwendungs- und Inverkehrbringungsverbote;
- Fortführung und Ergänzung der bisherigen Regelungen zu Dichtheitsprüfungen, Zertifizierung, Entsorgung und Kennzeichnung.

Die schrittweisen Beschränkungen der HFKW-Mengen („Phase down“) sind in Artikel 13 „Verringerung des Inverkehrbringens von teilfluorierten Kohlenwasserstoffen“ des Verordnungsentwurfs beschrieben. Der Mechanismus zur Zuweisung von Quoten für das Inverkehrbringen von HFKW ist in Artikel 14 ausgeführt und Artikel 15 betrifft die Einrichtung eines Quotenregisters. Ein Reduktionsschema zur Umsetzung des „Phase down“ ist in Anhang V des Vorschlags der EU-Kommission aufgeführt. Genauere Ausführungen hierzu folgen in Kapitel 4.1.

Mehrere Verwendungs- und Inverkehrbringungsverbote sind enthalten:

Artikel 9 untersagt das Inverkehrbringen von bestimmten, in Anhang III aufgeführten, Produkten und Einrichtungen mit F-Gasen. Es handelt sich neben den bereits bestehenden Verboten gemäß der F-Gase-Verordnung im Einzelnen um folgende Erzeugnisse und Einrichtungen:

- Brandschutzsysteme und Feuerlöscher, die HFKW-23 enthalten: Verbot ab 01.01.2015
- Haushaltskühl- und –gefriergeräte mit HFKW mit einem Treibhauspotenzial (Global Warming Potential: GWP) von 150 oder mehr: Verbot ab 01.01.2015
- Kühlgeräte und Gefriergeräte für die Lagerung, die Präsentation und den Vertrieb von Erzeugnissen im Einzelhandel und in der Gastronomie („gewerblicher Gebrauch“) – hermetisch geschlossene Systeme, die HFKW mit einem GWP von 2.500 oder mehr enthalten: Verbot ab 01.01.2017;
- Mobile Raumklimaanlagen (hermetisch geschlossen) mit HFKW mit einem GWP ≥ 150 ab 01.01.2020.

review of Regulation (EC) No. 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases. Final Report, for the EU Commission, September 2011. http://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/docs/2011_study_en.pdf

Artikel 11 „Beschränkung der Verwendung“ sieht ein Verbot der Verwendung von F-Gasen mit einem GWP ≥ 2.500 zur Wartung und Instandhaltung von Kälteanlagen ab einer bestimmten Füllmenge (entsprechend 5 t CO_2 Äq.) ab 1.1.2020 vor.

In Artikel 12 wird ein Verbot der Vorbefüllung von Einrichtungen vorgeschlagen. Drei Jahre nach Inkrafttreten der Verordnung sollen Kälte- und Klimaanlagen sowie Wärmepumpen nicht mehr mit teilfluorierten Kohlenwasserstoffen befüllt werden, bevor sie in den Verkehr gebracht oder dem Endnutzer zur ersten Installation zur Verfügung gestellt werden. Die Anlagen sollen erst am Aufstellort von zertifiziertem Personal befüllt werden. Ausnahmen sind für „hermetisch geschlossene Einrichtungen“ vorgesehen oder „Einrichtungen, die eine Menge an teilfluorierten Kohlenwasserstoffen von weniger als 2% der vorgesehenen Höchstkapazität der Einrichtung enthalten“ (Art. 12(2)).

Ergänzungen und Erweiterungen der bisher bestehenden Vorgaben der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 betreffen Dichtheitsprüfungen (Art. 3), Aufzeichnungspflichten (Art. 4), Zertifizierung (Art. 8), Rückgewinnung von F-Gasen (Art. 7), Kennzeichnung (Art. 10) sowie die Berichterstattung durch Unternehmen (Art. 17; Anhang 2) und Mitgliedstaaten (Art. 18).

Hinsichtlich der **Rechtsgrundlage** bezieht sich die EU-Kommission in ihrem Vorschlag für die Überarbeitung der F-Gase-Verordnung auf Artikel 191[7] und 192[8] des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AVEU). In Artikel 191 wird das Ziel der Bekämpfung des Klimawandels als Teil der europäischen Umweltpolitik festgelegt. Artikel 192 beinhaltet das Tätigwerden der Europäischen Union zur Erreichung dieses Ziels.

Da als Rechtsgrundlage das Umweltrecht gewählt wurde, ist es den einzelnen Mitgliedsstaaten möglich, verstärkte Schutzmaßnahmen beizubehalten oder zu ergreifen. Dies wäre bei der Implementierung zusätzlicher Maßnahmen in Deutschland von Bedeutung. Die betreffenden Maßnahmen müssen mit den Verträgen vereinbar sein und werden der EU-Kommission notifiziert (Artikel 193 AVEU[9]).

1.4 Änderungen in der endgültigen F-Gase-Verordnung vom 16. April 2014

Die endgültige Fassung der neuen F-Gase-Verordnung wurde im April 2014 verabschiedet. Sie weist Veränderungen gegenüber dem Vorschlag vom November 2012 auf, die, abgesehen von veränderter Nummerierung der einzelnen Artikel, sowohl die Zeitpunkte von Verbotsmaßnahmen als auch die Einführung neuer Verbote betreffen. Da die vorliegende Studie zeitlich vor der endgültigen Verordnung erarbeitet wurde, konnten diese Änderungen nicht mehr voll berücksichtigt werden. Allerdings hatten sich bis Mitte 2013 im Zuge der Diskussion um den Vorschlag vom November 2012 einige, zum Teil wesentliche, Veränderungen angedeutet, die in die Enfassung Eingang fanden. Die Basis der nachfolgenden Analysen und Berechnungen ist zwar der Vorschlag vom November 2012 geblieben; allerdings wurde an mehreren Stellen Bezug auf den weiterführenden Diskussionsstand genommen.

Artikel 11, vorher 9, datiert in Anhang III einige Verbote etwas später, nämlich von

- Brandschutzeinrichtungen mit HFKW-23 nicht ab 1.1.2015, sondern ab 1.1.2016,

[7] http://dejure.org/gesetze/AEUV/191.html
[8] http://dejure.org/gesetze/AEUV/192.html
[9] http://dejure.org/gesetze/AEUV/193.html

- Kühlgeräten und Gefriergeräten für gewerbliche Verwendung (hermetisch geschlossene Einrichtungen),
  die HFKW mit einem GWP von 2.500 oder mehr enthalten: Verbot nicht ab 1.1.2017, sondern ab 1.1.2020;
  die HFKW mit einem GWP von 150 oder mehr enthalten: Verbot nicht ab 1.1.2020, sondern ab 1.1.2022.

Darüber hinaus sind neue Verbote dazugekommen, und zwar für

- ortsfeste Kälteanlagen mit HFKW mit einem GWP ≥2.500 (außer für Kühlung <- 50°C) ab 1.1.2020;
- zentralisierte gewerbliche Kälteanlagen über 40 kW Kälteleistung mit GWP ≥150, außer im primären Kältemittelkreislauf von Kaskadensystemen, wo F-Gase mit GWP <1.500 eingesetzt werden dürfen – ab 1.1.2022;
- Mono-Splitklimageräte <3 kg F-Gase mit einem GWP ≥750 ab 1.1.2025;
- Schäume mit HFKW mit GWP ≥150 für XPS ab 1.1.2020 und für andere Schäume ab 1.1.2023;
- technische Aerosole mit HFKW ≥150 ab. 1.1.2018.

Artikel 13(3), vorher 11(3), „Beschränkung der Verwendung“ sieht das Verbot der Verwendung von F-Gasen mit einem GWP ≥2.500 für Wartung und Instandhaltung von Kälteanlagen über einer bestimmten Füllmenge (40 t statt 5 t CO_2-Äquivalent) weiterhin ab 1.1.2020 vor. Allerdings wurde eine sehr wichtige Ergänzung vorgenommen: Zur Wartung und Instandhaltung dürfen Kältemittel mit GWP ≥ 2.500 bis 2030 weiter benutzt werden, wenn sie aus Recycling oder Aufarbeitung gewonnen werden (Artikel 13 (3)). Diese Maßnahme zeichnete sich bereits Mitte 2013 als allgemein akzeptierte Ergänzung ab.

Artikel 14, vorher 12, beinhaltet kein Verbot der Vorbefüllung von Einrichtungen mit HFKW mehr. Jedoch ist das Inverkehrbringen dieser Einrichtungen an die Bedingung geknüpft, dass die in den Produkten enthaltenen Füllmengen im Quotensystem berücksichtigt sind. Hersteller und Importeure vorbefüllter Einrichtungen haben dies zu dokumentieren und eine "Konformitätsklärung" auszustellen, die von einem unabhängigen Prüfer bestätigt wird. Das bedeutet, dass die Einfuhr vorbefüllter Anlagen nicht verboten ist und dass diese Anlagen nicht erst innerhalb der EU befüllt werden dürfen. Durch die Einbindung vorbefüllter Einrichtungen in das Quotensystem soll allerdings derselbe Zweck erreicht werden, nämlich die stetige Verknappung der HFKW-Nachfrage für derartige Einrichtungen.

Weitere, inhaltlich nicht wesentliche Änderungen der Endfassung gegenüber dem ersten Vorschlag der F-Gase-Verordnung betreffen Umnummerierungen einzelner Artikel: Art. 3 (Dichtheitskontrollen) wird zu Art. 4, Art. 4 (Aufzeichnungspflichten) wird zu Art. 6, Art. 8 (Zertifizierung) wird zu Art. 10, Art. 17 (Berichterstattung durch Unternehmen) zu Art. 19.

Von den neuen Maßnahmen am wichtigsten bezüglich quantitativer Auswirkungen auf die HFKW-Nachfrage ist zweifellos das – neue – Verbot von HFKW mit einem GWP ≥2.500 für neue ortsfeste Kälteanlagen ("Erstbefüllung"), ab 2020. Ein Verbot für HFKW mit GWP ≥ 2.500 bezog sich im Vorschlag von 2012 lediglich auf Instandhaltung und Wartung ("Nachfüllung") im Rahmen des Artikels über die "Beschränkung der Verwendung". Die – von uns als "Erstbefüllungsverbot" bezeichnete Maßnahme – ist rechtlich und begrifflich keine Verwendungsbeschränkung, sondern

ein Verbot des Inverkehrbringens im Rahmen des Artikels über "Beschränkungen des Inverkehrbringens" und des entsprechenden Anhangs III, welcher mehrere Verbote auflistet. Aufgrund der besonderen Bedeutung dieser Maßnahme wurde die Analyse des Verbots des Inverkehrbringens von Einrichtungen mit HFKW mit GWP ≥ 2.500 unter der abkürzenden Bezeichnung "Erstbefüllungsverbot" in die nachfolgende Studie aufgenommen, zumal sich eine derartige Maßnahme in den Debatten bis Mitte 2013 als Bestandteil der Endfassung klar abzuzeichnen begann, auch wenn der endgültige Verbotszeitpunkt (2020) noch nicht feststand.

Die Schlussfolgerung für die vorliegende Studie ist, dass die Veränderungen der endgültigen Fassung der F-Gase-Verordnung vom April 2014 gegenüber ihrem Vorschlag vom November 2012 in den nachfolgenden Kapiteln berücksichtigt worden sind, soweit sie sich bis Mitte 2013 als wahrscheinlich abzeichneten. Die Analysen der Studie weichen von der Endfassung der Verordnung vom April 2014 zwar in manchen Details ab, sind aber nicht substanziell verschieden und keineswegs obsolet geworden.

2 Barrieren und Chancen

2.1 Einteilung von Barrieren für die Marktdurchdringung von halogenfreien Technologien/ Verfahren

In der Fachliteratur werden mehrere Typen von Barrieren für die Marktdurchdringung halogenfreier Stoffe/Verfahren genannt.

Die Studie von UNEP (2010, S.11) unterscheidet folgende Kategorien:

- Technische Barrieren: Technische Machbarkeit halogenfreier Stoffe/Verfahren ist für bestimmte Anwendungen eingeschränkt – durch Sicherheitsanforderungen etc.
- Verfügbarkeit von Materialien und Komponenten: Mangelhafte Versorgung und Belieferung mit Stoffen/Technologien verhindert die Erhöhung ihrer Marktdurchdringung;
- Kommerzielle Interessen: Die Einführung halogenfreier Stoffe/Verfahren und damit verbundene Kosten stehen den kommerziellen Interessen bestimmter Marktteilnehmer entgegen.
- Marktsituation: Mangelnde Nachfrage am Markt oder mangelnde Akzeptanz halogenfreier Stoffe/ Verfahren durch potentielle Kunden verhindert verbesserte Marktdurchdringung.
- Information: Unzureichende Informationen und technische Daten in Form von Literatur und Weiterbildungsmöglichkeiten zum Einsatz halogenfreier Alternativen verhindern vermehrte Anwendung halogenfreier Alternativen.
- Regulierung und Standardisierung: Bestehende gesetzliche Regelungen verbieten die Verwendung halogenfreier Alternativen bzw. notwendige Standards zum Einsatz von halogenfreien Stoffen/Verfahren existieren nicht, so dass die Markteinführung von Alternativtechnologien nicht bzw. nur erschwert möglich ist.
- Psychologische und gesellschaftliche Barrieren: Mangelnde Akzeptanz von Alternativtechnologien bei Entscheidungsträgern in Unternehmen und Einzelpersonen erschweren den Marktzugang für halogenfreie Stoffe/Verfahren.

Eine Erhebung durch Shecco (2012; S. 96 ff) nennt folgende Typen von Barrieren:

- Mangel an Training & Know How
- Technische und sicherheitsbezogene Barrieren
- Kosten und Finanzierung
- Psychologische Aspekte, vor allem Mangel an Bewusstsein und Akzeptanz von Alternativen
- Regulierung: Gesetzgebung und Standardisierung
- Verfügbarkeit
- Marktsituation: Konkurrenzdruck durch konventionelle Technologien.

Diese Unterteilungen erlauben in manchen Punkten eine eindeutige Zuordnung bestimmter Argumente, etwa bei den technischen Barrieren und der Verfügbarkeit.

Die Zuordnung von Argumenten zu den „kommerziellen Interessen“ (UNEP) und der „Marktsituation“ bzw. zu den Aspekten „Kosten und Finanzierung“ ist hingegen nicht eindeutig, so dass diese Kategorien in der weiteren Auswertung als „ökonomische Barrieren“ zusammengefasst werden.

Auch die Zuordnung von einzelnen Aspekten zu „Information“, „Training und Know How“ oder „psychologischen und gesellschaftlichen Barrieren“ ist schwierig, da diese

Barrieren oft zusammenhängend genannt werden. Ein Mangel an Information und fachlicher Ausbildung führt in den meisten Fällen zu einem Mangel an Akzeptanz jeglicher technischer Neuerungen. Deshalb werden diese Barrieren in den weiteren Ausführungen als „Information/ Ausbildung/ Akzeptanz“ zusammengefasst. Die Barrieren "Regulierung" und "Standardisierung", die in beiden Quellen genannt werden, werden beibehalten und zu "Standardisierung/Regulierung" zusammengefasst.

Auf Basis der Auswertung verschiedener in der Literatur genannter Typen von Barrieren wird folgende Einteilung vorgenommen:

- Ökonomische Barrieren
- Technische Barrieren
- Mangel an Information/Wissen/Akzeptanz
- Fehlende/ unzureichende Standardisierung/Regulierung
- Mangelnde Verfügbarkeit

2.2 Identifizierte Barrieren und Bewertungsschema

Verschiedene Anspruchsgruppen (Interessengruppen) sind bei der Errichtung, Erhaltung und Überwindung von Barrieren der Marktdurchdringung von Alternativtechnologien relevant. Grob unterschieden werden können nach UNEP 2010 (S. 15f):

- Anspruchsgruppen, die direkt eingebunden sind, wenn ein Produkt mit halogenfreien Stoffen/Verfahren auf den Markt gebracht wird: Hersteller und Händler von Kälte- und Treibmitteln, Komponentenhersteller und -händler, Anlagenbauer, Serviceunternehmen, Anlagenbetreiber, Endkunden etc.
- Anspruchsgruppen, die indirekt an der Auswahl der eingesetzten Substanzen beteiligt sind, indem sie versuchen, die Rahmenbedingungen zu beeinflussen: Gesetzgeber, Umweltbehörden, technische Institutionen, Normungsinstanzen, Industrie- und Handelsverbände.

Verschiedene Barrieren werden von den genannten Anspruchsgruppen unterschiedlich wahrgenommen und bewertet.

2.2.1 Literaturauswertung

2.2.1.1 Bericht über die Stakeholder-Befragung zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung (2012)

Unterschiedliche Einschätzungen zur Relevanz der Barrieren bei der Einführung von Alternativen zeigten sich bei der Befragung der interessierten Kreise ("stakeholder"), die im Zuge der Überarbeitung der europäischen F-Gase-Verordnung (EG) Nr. 842/2006 im Herbst 2011 durchgeführt und von 259 Organisationen und Einzelpersonen beantwortet wurde (EU-Kommission 2012).

Die Frage zu Barrieren lautete „Welche sind hauptsächlich die Hindernisse bei der Umstellung auf Alternativen mit geringer Klimawirkung (d.h. Gase mit niedrigem Treibhauspotenzial oder andere Non-in-kind Alternativen) in Anwendungen, in denen derzeit F-Gase eingesetzt werden?“. Folgende Antwortmöglichkeiten standen zur Verfügung:

- individuelle Aufzählung
- keine Hindernisse
- alternative Technologien sind für spezifische Anwendungen nicht verfügbar

- alternative Technologien erfordern höhere Investitionskosten
- alternativen Technologien führen zu höheren Betriebskosten
- alternative Technologien besitzen nicht denselben Leistungsstandard (z.B. Betriebssicherheit, Energieeffizienz, Dämmeigenschaften)
- alternative Technologien erfordern einen höheren Aufwand bei der Einhaltung der gleichen Sicherheitsstandards
- andere.

Die Antworten variierten stark:

Höhere Investitionskosten stellten für 26% der Einzelpersonen und 19% der Organisationen ein bedeutendes Hindernis dar. Allerdings gehen mehrere Befragte davon aus, dass sich die Investitionskosten mit wachsender Marktdurchdringung verringern oder dass die höheren Kosten bei der Installation der Neuanlagen mit Alternativen durch geringere Betriebskosten kompensiert werden. Die Betriebskosten werden in der Regel als unbedeutendes Hindernis gesehen. In bestimmten Sektoren wird allerdings die Verwendung von F-Gasen als wirtschaftlicher betrachtet, z.B. die Verwendung von SF_6 in Schaltanlagen und von HFKW bei der Produktion von XPS-Schäumen, in Aerosolen und als Feuerlöschmittel. Einige Anspruchsgruppen (Individuen, Unternehmen und Organisationen) erwarten höhere Betriebskosten der Alternativen in der Kälte- und Klimatechnik. Insgesamt spielen ökonomische Barrieren aus Sicht der Befragten die wichtigste Rolle.

Einzelpersonen nehmen zudem häufig an, dass bei der Einführung von alternativen Technologien der größere Aufwand für die Einhaltung der Sicherheits- und Leistungsstandards ein erhebliches Hindernis ist.

Für Organisationen ist, im Gegensatz zu den Einzelpersonen, der Mangel an Alternativtechnologien in bestimmten Anwendungen ein Haupthindernis.

Lediglich 5 % der Teilnehmer gaben an, dass es keine wirklichen Hindernisse bei der Umstellung auf Alternativen mit geringer Klimawirkung gibt.

Die Erhebung zeigte, dass die Wahrnehmung von Hemmnissen zwischen Organisationen bzw. Organisationen verschiedenen Typs und verschiedener Sektoren voneinander abweichen. Es wurde deutlich, dass es heute in noch nicht allen Anwendungsbereichen und Sektoren als adäquat, sicher und kosteneffektiv wahrgenommene Alternativen gibt.

2.2.1.2 Erhebung durch Shecco (2012)

Eine ähnliche Erhebung mit über 500 Beteiligten wurde von Shecco (Shecco 2012; S. 96ff) vorgelegt. Sie bezog sich ausschließlich auf Kälte-Klima-Anwendungen. Die Frage lautete hier: „Welche sind die größten Hindernisse bei der Einführung natürlicher Kältemittel?“

Als „starke“ oder „sehr starke“ Barriere zur Annahme von natürlichen Kältemitteln wurde von 58% der Beteiligten der Mangel an Ausbildung und Wissen angegeben. Danach folgten technische (49%) und ökonomische (45%) Barrieren. Als weniger wichtig in Europa wurden unvorteilhafte Auswirkungen auf die Wettbewerbsposition eingestuft.

Hinsichtlich der Gesamtgewichtung der Barrieren ergab sich folgendes Bild: Training und Know How waren mit 17% die wichtigste Barriere, gefolgt von technischen Aspekten und Sicherheit mit 15% und psychologischen Aspekten (Akzeptanz, Wahrnehmung) mit ebenfalls 15%.

2.2.1.3 Studie des UBA zu Supermarktkälte in Deutschland (2008)

Die identifizierten Barrieren in einer Studie des UBA zur Supermarktkälte (UBA 2008; S. 245ff) aus dem Jahr 2008 waren technische Aspekte und Kosten.

2.2.2 Barrieren, Chancen und mögliche Maßnahmen

Die Barrieren verhindern zumeist verschiedene grundsätzlich mögliche Entwicklungen, die mit übergeordneten Zielen in Einklang stehen.

Die Strategie Europa 2020 für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum (EU-Kommission 2010) umfasst mehrere Leitziele, wie Europa im Jahr 2020 aussehen sollte. Eines dieser Leitziele betrifft Klima und Energie (EU-Kommission 2010; S.11): Die EU-Mitgliedsstaaten haben sich verpflichtet, bis 2020 die Treibhausgas-Emissionen um 20% zu verringern, den Anteil erneuerbarer Energieträger am Energiemix der EU auf 20% anzuheben und die Energieeffizienz um 20% zu steigern. In diesem Zusammenhang wird der Reduzierung von Emissionen fluorierter Treibhausgase aufgrund ihrer hohen Klimawirksamkeit hohe Bedeutung beigemessen.

Neben diesen kurz- bis mittelfristigen Zielstellungen liegt eine mittel- bis langfristige Strategie für Europa vor, welche die Schaffung einer CO_2-armen Wirtschaft als übergeordnetes Ziel anstrebt (EU-Kommission 2011; S.3)[10]: Der Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO_2-armen Wirtschaft soll zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen in Europa bis 2050 um 80% bis 95% gegenüber 1990 führen.

Dabei sind Etappenziele für Emissionssenkungen in einzelnen Sektoren vorgegeben (Tabelle 1). Für fluorierte Gase, die in der Kategorie „Andere Nicht-CO_2-Emissionen“ erfasst sind, liegen die Zielsetzungen bei -72 bis -73% bis 2030 und bei -70 bis -78% bis 2050.

Tabelle 1: Emissionssenkungen einzelner Sektoren für die Jahre 2005, 2030 und 2050 gemäß „Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO_2-armen Wirtschaft bis 2050“ der EU-Kommission

THG-Emissionsverringerung gegenüber 1990	2005	2030	2050
Insgesamt	-7%	-40 bis -44%	-79 bis -82%
Sektoren			
Stromerzeugung (CO_2)	-7%	-54 bis -68%	-93 bis -99%

[10] EU-Kommission 2011: Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO2-armen Wirtschaft bis 2050; KOM(2011) 112 endgültig.
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:DE:PDF (30.09.13)

THG-Emissionsverringerung gegenüber 1990	2005	2030	2050
Industrie (CO_2)	-20%	-34 bis -40%	-83 bis -87%
Verkehr (einschl. CO_2 aus der Luftfahrt, ohne Seeverkehr)	+30%	+20 bis -9%	-54 bis -67%
Wohnen und Dienstleistungen (CO_2)	-12%	-37 bis -53%	-88 bis -91%
Landwirtschaft (Nicht-CO_2)	-20%	-36 bis -37%	-42 bis -49%
Andere Nicht-CO_2-Emissionen	-30%	-72 bis -73%	-70bis -78%

Folgende Aspekte der künftigen Entwicklung Europas werden hervorgehoben:

- Die Energiestandards für Gebäude bieten preisgünstige, kurzfristig realisierbare Möglichkeiten zur Emissionsminderung. Investitionen in energiesparende Gebäudekomponenten und –ausrüstungen müssen in den nächsten Jahren stark ansteigen (EU-Kommission 2011; S. 8f).
- Fortschrittliche ressourcenschonende und energieeffiziente Industrieprozesse und Industrieanlagen, mehr Recycling sowie Technologien zur Verringerung der Nicht-CO_2-Emissionen könnten einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus Industriesektoren leisten (EU-Kommission 2011; S. 9).
- Der Anstieg öffentlicher und privater Kapitalinvestitionen, etwa für CO_2-arme Energieträger und Infrastruktur sowie fortschrittliche Industrieprozesse, wird über einen längeren Zeitraum hinweg erforderlich sein, um die künftige Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft zu sichern (EU-Kommission 2011; S. 11).
- Durch höhere EU-interne Investitionen ergeben sich Chancen für höhere Produktivität, Wertschöpfung und Produktion in vielen Industriezweigen, die Schlüsselindustrien für die Schaffung künftigen Wachstums und künftiger Arbeitsplätze darstellen (EU-Kommission 2011; S. 12).
- Als weiterer Nutzeffekt wird darüber hinaus betont, dass frühe Investitionen in eine CO_2-arme Wirtschaft einen allmählichen Strukturwandel stimulieren und kurz- und mittelfristig neue Arbeitsplätze generieren. Langfristig wird die Schaffung und Erhaltung von Arbeitsplätzen durch bessere Schul- und Berufsbildung, Förderprogramme zur Akzeptanz für neue Technologien, Forschung und Entwicklung (F&E) und Unternehmertum sowie günstige wirtschaftliche Rahmenbedingungen für Investitionen bei der Entwicklung neuer CO_2-armer Technologien bedingt werden. Der künftig steigende Bedarf an qualifizierten Arbeitskräften macht außerdem eine gezielte berufliche Weiterbildung erforderlich, die dem entstehenden Mangel an Qualifikationen entgegenwirkt und diese Qualifikationen in den Bildungssystemen unterstützt (EU-Kommission 2011; S. 13f).

Diese Zielsetzungen für die Entwicklung Europas und Deutschlands werden im Folgenden als Chancen gesehen.

Zusammenfassend beinhalten die „Chancen“ Vorteile wie die Reduzierung von Treibhausgasemissionen, die Stärkung der europäischen Wettbewerbsposition sowie die Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen.

Es können verschiedene Herangehensweisen und Methoden erwogen werden, um einzelnen Barrieren zu begegnen und eine Hinwendung zu den Chancen und damit den übergeordneten Zielen zu ermöglichen. Solche Herangehensweisen werden im Folgenden als Maßnahmen bezeichnet.

Tabelle 2 fasst allgemein die im Rahmen der Literaturauswertung identifizierten Barrieren für eine Einführung von Alternativen zu halogenierten Stoffen zusammen. Chancen bzw. mögliche Maßnahmen werden den Barrieren gegenübergestellt.

Tabelle 2: Arten von Barrieren, mögliche Maßnahmen zur Überwindung dieser Barrieren und daraus abgeleitete Chancen gemäß Literaturauswertung

Barrieren	Mögliche Maßnahmen	Chancen/ Ziele
Ökonomische Barrieren		
Kosten für Forschung und Entwicklung (UNEP 2010, S. 39). Adressat der Kosten: Industrie	Förderung von Forschung und Entwicklung in staatlichen Forschungseinrichtungen und in Unternehmen: Forschungsförderung. Bündelung von Forschungsergebnissen und Verbreitung in der Fachöffentlichkeit, auch international, um Technologietransfer zu unterstützen.	Verbesserung des Kenntnisstandes über Alternativtechnologien und damit Möglichkeiten für Innovationen und Aufbau von Wettbewerbsvorteilen, vor allem wenn globale Standards angehoben werden.
Höhere Investitionskosten bzw. Herstellungskosten für Alternativtechnologien (UNEP 2010, S. 71; UNIDO 2012, S. 5). Adressat der Kosten: Industrie	Schaffung von Rechtssicherheit für große Investitionsentscheidungen. Regulierung und Verteuerung der konventionellen Technologien (Schwarz et al. 2011, S. 276; UNIDO 2010, S.5) zur Umstellung des Marktes auf Alternativtechnologien: Phase down; Verbot bisheriger Technologien; fiskalische Maßnahmen etc. Finanzielle Anreize für Endnutzer zur Umstellung auf Alternativtechnologien (UNEP 2010; S.48): Fördermaßnahmen/ Marktanreizprogramme	Verbesserte Marktdurchdringung der Alternativtechnologien mit geringem Treibhauspotenzial und hoher Effizienz führt zu Reduzierung der Treibhausgasemissionen: Verbesserung der Wettbewerbssituation von fortschrittlichen Herstellern. Globale Produktionsvolumina natürlicher Kältemittel sind von 2008 bis 2011 bereits um ca. 15% gewachsen (Shecco 2012, S.32). Für einzelne Unternehmen: Wettbewerbsvorteile in D und EU.
Höhere Wartungskosten von Alternativtechnologien Adressat der Kosten: Verbraucher	Aufklärung über tatsächliche Kosten der Alternativtechnologien. Preissteigerungen für Wartung von Anlagen mit konventionellen Technologien	Verbesserung der Sicherheit von Anlagen mit Alternativtechnologien, Verlängerung der Lebensdauer durch regelmäßige Wartung und damit Vermeidung von zusätzlichen Anschaffungen
Kosten für Training von Fachpersonal, Zertifizierung	Verbindliche Festlegung von Ausbildungsinhalten zu Alter-	Verbesserter Ausbildungsstand des technischen Personals, ein-

Barrieren	Mögliche Maßnahmen	Chancen/ Ziele
(UNEP 2010, S. 71). Adressat der Kosten: Industrie, Wartungsbetriebe	nativtechnologien in der Sachkunde von Personal und Unternehmen; Förderung von Weiterbildungsmaßnahmen, v.a. für kleinere Unternehmen; Einfacher Zugang zu Informationen und Weiterbildungsangeboten, z.B. über Fachmessen, Online-Angebote etc.	heitliche Qualitätsstandards an Ausbildung; Festigung der Wettbewerbsposition, auch im Bereich der Wartung (After-Sales-Markt)
Finanzierungsinstrumente für Entwicklungs- und Schwellenländer sind nicht auf die Förderung von halogenfreien Alternativen zu HFKW ausgerichtet (UNIDO 2010).	Hohe Emissionseinsparungen auch in Entwicklungs- und Schwellenländern: Zeitfenster für klimafreundliche Technologien: Im Zuge des HFCKW-Ausstiegs könnte v.a. in Entwicklungsländern sofortiger Umstieg auf Niedrig-GWP Alternativen erfolgen, um unnötige Kosten und Zwischenschritte zu vermeiden (Ciconcov 2010, S. 5).	Anpassung von Finanzierungsinstrumenten: **Beispiel: Der MLF (Multilateraler Fonds) des Montrealer Protokolls fördert bereits die Umstellung auf natürliche Alternativen in A5 Ländern mit bis zu 25% bei der Finanzausstattung (UNEP 2010, S. 71).**
Technische Barrieren		
In manchen HFKW-Anwendungen existieren noch nicht für alle Unteranwendungen Alternativen **(UNEP 2011, S. 31).**	Förderung von Forschung und Entwicklung weiterer Alternativen (UNEP 2011, S. 31) durch verbindliche Regelungen zu HFKW-Einsatz in künftigen Jahren. **Finanzielle Mittel zur Forschungsförderung.**	Potenziale für Innovationen, Forschung und Entwicklung: Alternativen in verbleibenden Unteranwendungen; **Förderung der Entwicklung von *not-in-kind* Technologien (UNEP 2011, S. 4) z.B. intelligente raumlufttechnische Anlagen; Dämmung mit natürlichen Fasern (UNEP 2011, S. 4; Velders et al. 2012).**
Niedrigere Energieeffizienz einiger Alternativen in bestimmten Anwendungsbereichen und dadurch höhere laufende Kosten und höhere indirekte Emissionen (Velders et al. 2012).	Alternative Technologien sind bereits teilweise energieeffizienter als konventionelle Technologien (Ciconcov 2010, S. 6, UNEP 2010, S. 71; Schwarz et al. 2011). Trotzdem: Förderung von Forschung und Entwicklung von energieeffizienten Alternativtechnologien v.a. auch für heiße Klimaregionen.	**Potenziale für Innovationen, Forschung und Entwicklung.**
Anspruchsvolle technische Lösungen und komplexes Design bei Alternativtechno-	Information und Werbung für technisch anspruchsvolle, langlebige Anlagen;	Hohe technische Qualität der Alternativtechnologien mit langer Lebensdauer; Raum für Einzelfall-

Barrieren	Mögliche Maßnahmen	Chancen/ Ziele
logien (UNEP 2010, S. 28f).	**Förderung der Aus- und Weiterbildung von technischem Personal.**	lösungen.
Sicherheitsfragen bei manchen Alternativen, z.B. toxische und brennbare Kältemittel in Anwendungen mit großen Füllmengen (UNEP 2010, S. 72; UNIDO 2010, S. 8).	Weiterentwicklung von Sicherheitsstandards und technischen Vorschriften, um neue Erkenntnisse einfließen zu lassen. Anlagenspezifische Zertifizierung der Anlagensicherheit (Einzelabnahme) (UNIDO 2010, S. 6). **Aus-und Weiterbildung von technischem Personal zu Alternativtechnologien**	Potenziale für Forschung und Entwicklung bei der Anlagensicherheit; Standardisierung von neuen Technologien; **Verbesserung des Ausbildungsstandes von technischem Personal.**
Information/ Wissen/ Akzeptanz		
Mangel an technischen Informationen zu Alternativtechnologien (UNEP 2010, S.55). Mangelnde Information von Anlagenplanern und Anwendern über Alternativen zu HFKW. In A5-Ländern empfehlen Berater für Konversionsprojekte meist keine halogenfreien Alternativen (UNEP 2010, S.59).	Aufbereitung, Veröffentlichung und Verbreitung von unabhängigen technischen Informationen, auch in web-basierter Form, z.B. REAL Skills Europe (E-Learning). Einrichtung von Beratungsangeboten für Endverbraucher und Fachpersonal Bündelung und Verbreitung existierender Kenntnisse in der Fachöffentlichkeit, auch international, um Technologie- und Wissenstransfer zu unterstützen, etwa durch spezielle Schulungen (UNEP 2010, S. 39). **Modell-Anlagen zur Veranschaulichung der Funktionsweisen von Alternativtechnologien (Ciconcov 2010; UNEP 2010, S. 32; GIZ Proklima 2011d; UNIDO 2010, S. 6).**	Verbesserung des Ausbildungsstandes von technischem Personal **Verbesserung der Akzeptanz von klimafreundlichen Technologien bei Investitionsentscheidungen und damit verbesserte Marktdurchdringung von Alternativtechnologien.**
Unzureichende Ausbildung und Erfahrung bei technischem Personal hinsichtlich Planung, Wartung und Instandhaltung von Alternativtechnologien (UNEP 2010, S. 33; Shecco 2012;	Förderung der Aus- und Weiterbildung von technischem Personal in Bezug auf halogenfreie Alternativen. **Modell-Anlagen zur Darstellung der Funktionsweisen von Alternativtechnologien und für**	Verbesserter Ausbildungsstand des technischen Personals; einheitliche Qualitätsstandards in Aus- und Weiterbildung von technischem Personal; **Festigung der Wettbewerbsposition.**

Barrieren	Mögliche Maßnahmen	Chancen/ Ziele
S.96).	**Ausbildungszwecke (Ciconcov 2010; UNEP 2010, S. 32; GIZ Proklima 2011d; UNIDO 2010, S. 6).**	
Geringe Sichtbarkeit und Lobby für halogenfreie Alternativen (UNEP 2010, S. 68) – Viel Lobbyarbeit für konventionelle Technologie.	Öffentlichkeitswirksame Maßnahmen: Wettbewerbe und Förderprogramme für Alternativtechnologien. Vergabe von Umweltzeichen für klimafreundliche Massenprodukte. Integration von halogenierten Substanzen und halogenfreien Alternativen in regionale und kommunale Klimaschutzkonzepte, um so lokale Entscheidungsträger zu sensibilisieren. **Regulierung, fiskalische Instrumente.**	**Verbesserung der Akzeptanz von klimafreundlichen Technologien bei Investitionsentscheidungen und damit verbesserte Marktchancen**
Von Unternehmen werden potentielle Kosten von Alternativen oft zu hoch geschätzt (besonders in A5 Ländern) und dann Investitionsentscheidungen zugunsten konventioneller Technologien getroffen (UNEP 2010, S. 13; S. 71).	Aufklärung über tatsächliche Kosten der Alternativtechnologien, auch anhand von beispielhaften bereits existierenden Anlagen. Schaffung von Rechtssicherheit für große Investitionsentscheidungen. **Regulierung und Verteuerung der konventionellen Technologien (Schwarz et al. 2011, S. 276; UNIDO 2010, S.5) zur Umstellung des Marktes auf Alternativtechnologien: Phase down; Verbot bisheriger Technologien; fiskalische Maßnahmen etc.**	**Verbesserung der Akzeptanz von klimafreundlichen Technologien bei Investitionsentscheidungen und damit verbesserte Marktchancen, auch in Entwicklungs- und Schwellenländern.**
Negative Einschätzung des Potentials zur Einführung von natürlichen Kältemitteln in Afrika und Südamerika (Shecco 2012, S.30).	Die Überzeugung vieler Industrie-Experten vom Potential natürlicher Kältemittel sollte genutzt werden, um Nachahmer zu finden (Shecco 2012, S. 30). **Finanzierung und Ausbau von Modell-Anlagen vor Ort zur Darstellung der Funktionsweisen von Alternativtechnologien und zu Ausbildungszwecken (Ciconcov 2010; UNEP 2010, S. 32; GIZ Proklima 2011d;**	Weltweite Reduzierung von Treibhausgasemissionen (direkte Emissionen und indirekte Emissionen; Modernisierung des Anlagenbestands; Verbesserung der weltweiten Marktdurchdringung von Alternativtechnologien; **Technologie- und Wissenstransfer zur Sicherung künftiger Ex-**

Barrieren	Mögliche Maßnahmen	Chancen/ Ziele
	UNIDO 2010, S. 6).	**portmärkte.**
Standardisierung		
Standards und Normen sowie zum Teil nationale Regelungen sind nicht auf die Verwendung von halogenfreien Alternativen zugeschnitten und beinhalten komplizierte Vorgaben für brennbare und/oder toxische Alternativen (UNEP 2010, S. 62/63; UNIDO 2010, S. 8).	Schaffung von Rechtssicherheit, da gesetzliche Regelungen verbindlich einzuhalten sind. Finanzierung von technischen Beurteilungen und Studien, um den Stand der Technik zu erheben, darzustellen und weiterzuentwickeln. **Veränderungen der Standards und Regeln (UNEP 2010, S. 64; UNIDO 2010, S. 8), sofern erforderlich.**	Verbesserung des Kenntnisstandes über Alternativtechnologien und damit Möglichkeiten für Innovationen und Aufbau von Wettbewerbsvorteilen, vor allem wenn globale Standards angehoben werden.
Verfügbarkeit		
Gegenwärtig noch ungenügende Marktverfügbarkeit von Anlagen/Geräten mit halogenfreien Alternativen in manchen Ländern (UNEP 2010; S. 31ff.; UNIDO 2010, S. 7).	**Information über und Marketing für „grüne" Produkte um auf ihre Verfügbarkeit aufmerksam zu machen (UNEP 2010, S. 32).** **Durch größere Nachfrage, v.a. auch in Entwicklungsländern, lässt sich die Verfügbarkeit an Produkten, Service und Zulieferern verbessern (UNEP 2010, S. 31).** **Schaffung von Bezugsquellen und Vertriebswegen auch in Entwicklungsländern (GIZ Proklima).**	**Weltweite Reduzierung von Treibhausgasemissionen (direkte Emissionen und indirekte Emissionen; Emissionseinsparungen auch in Entwicklungs- und Schwellenländern:** **Zeitfenster für klimafreundliche Technologien: Im Zuge des HFCKW-Ausstiegs könnte v.a. in Entwicklungsländern sofortiger Umstieg auf Niedrig-GWP Alternativen erfolgen, um unnötige Kosten und Zwischenschritte zu vermeiden (Ciconcov 2010, S. 5).**

2.2.3 Klassifikation der Relevanz von Barrieren

Im nächsten Schritt werden die identifizierten Barrieren für die weitere Marktdurchdringung von halogenfreien Alternativen in den Hauptanwendungen entsprechend ihrer Relevanz geordnet.

Für die Bewertung der Relevanz von Barrieren wurde ein Bewertungsschema formuliert (Tabelle 3). Die Relevanz der Barrieren wurde anschließend in die Kategorien „hoch", „mittel" und „gering" eingeteilt.

Folgende Kriterien spielen bei der Bewertung der Barrieren in verschiedenen Anwendungen eine Rolle:

Effizienz: Der Einsatz von Alternativtechnologien im Vergleich zu konventionellen Technologien ist in mindestens der Hälfte aller Fälle zu gleichen Kosten möglich (Alternativen sind gleichwertig zu konventionellen Technologien am Markt etabliert).

Effektivität: Der Einsatz von Alternativtechnologien im Vergleich zur Referenztechnologien führt zu hohen Emissionseinsparungen.

Tabelle 3: Bewertungsschema der Relevanz von Barrieren in den Hauptanwendungen

Relevanz	Aspekt der Bewertung
Hoch	Die Barriere verhindert den Einsatz von Alternativtechnologien in >50% der Anwendungsmöglichkeiten. Kosteneffiziente Maßnahmen können zur Überwindung der Barriere beitragen. Effektivität: Es sind hohe Emissionseinsparungen möglich.
Mittel	Die Barriere verhindert den Einsatz von Alternativtechnologien in 25-50% der Anwendungsmöglichkeiten. Effektivität: Es sind noch relevante Emissionseinsparungen möglich.
Gering	Die Barriere verhindert den Einsatz von Alternativtechnologien in Deutschland in wenigen Einzelfällen. Effektivität: Es sind nur geringe Emissionseinsparungen möglich.

Die Einteilung wird auf die in den Hauptanwendungen identifizierten Barrieren angewendet (Kapitel 2.3).

2.3 Barrieren in den Hauptanwendungen

In den folgenden Tabellen (Tabelle 4 – Tabelle 7) sind Barrieren für die weitere Marktdurchdringung von Alternativen in den Hauptanwendungen, eine Bewertung ihrer Relevanz und mögliche Maßnahmen zur Überwindung dieser Barrieren eingetragen. Von den genannten möglichen Maßnahmen werden manche innerhalb dieses Vorhabens bearbeitet. Die Zusammenstellung beruht auf Literaturrecherchen und Expertenangaben.

Von einer zunächst geplanten Unterteilung nach Barrieren in Industrieländern und Entwicklungsländern wurde abgesehen, da sich zeigte, dass die meisten Barrieren in allen Ländern auftreten.

Die Einteilung in gängige Einzelanwendungen und eine Darstellung der heute in Deutschland eingesetzten Kälte-/Treibmittel sowie möglicher Alternativen sind in den sektoralen Tabellenblättern zum deutschen Modell enthalten (Anhang 7.1) und werden hier nur kurz zusammengefasst.

2.3.1 Gewerbekälte

Die F-Gas-Emissionen aus Anwendungen der Gewerbekälte lagen 2012 in Deutschland bei 2.800 kt CO_2 Äq. (GWP_{100} nach 4. IPCC-Sachstandsbericht). Es entstanden Emissionen von

- ca. 2.300 kt CO_2 Äq. aus Zentralanlagen von Supermärkten und Discountern,
- ca. 400 kt CO_2 Äq. aus Verflüssigungssätzen,
- ca. 70 kt CO_2 Äq. aus steckerfertigen Geräten.

Als Referenztechnologien werden in den verschiedenen Einzelanwendungen der Gewerbekälte folgende Technologien bzw. Kältemittel angenommen (Anhang 7.1):

- Supermarkt-Zentralanlagen: DX 80% R404A, 20% R134a[11]
- Discounter-Zentralanlagen: DX 50% R404A, 50% R134a
- Verflüssigungssätze: DX 50% R404A, 50% R134a
- Steckerfertige Geräte: Direkt R134a.

Als klimafreundliche Alternativtechnologien werden folgende Technologien im Modell berücksichtigt und mit Marktdurchdringungsraten für Deutschland in den Jahren 2015, 2020 und 2030 hinterlegt:

- Supermarkt-Zentralanlagen: KW+Sole+CO_2-Kaskade; KW+CO_2+CO_2-Kaskade; R744 transkritisch; R1234yf+ CO_2 Kälteträger + CO_2-Kaskade.
- Discounter-Zentralanlagen: KW+Sole; KW+CO_2 Kälteträger; R744 transkritisch; R1234yf+CO_2 Kälteträger.
- Verflüssigungssätze: R744 transkritisch; R290 DX; KW+Sole; R1234yf+Sole.
- Steckerfertige Geräte: R600a/R290 direkt; R744 direkt.

Tabelle 4 fasst Barrieren zusammen, die für Anwendungen der Gewerbekälte eine Rolle spielen. Potentielle Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung von Alternativtechnologien werden aufgeführt.

Wie ersichtlich wird, spielen ökonomische Barrieren in der Gewerbekälte eine große Rolle, vor allem bei Zentralanlagen, da sie mit hohen Investitionskosten verbunden sind. Daneben stellt ein Mangel an Information/Wissen/Akzeptanz ein anwendungsübergreifendes Hindernis in der Kälte- und Klimatechnik dar, vor allem im Bereich der Aus- und Weiterbildung von Fachpersonal.

Technische Barrieren zu Sicherheitsfragen beim Einsatz brennbarer Kältemittel sind im Wesentlichen in Anwendungen mit größeren Kältemittelfüllmengen relevant, was bei Gewerbekälte-Anwendungen v.a. auf Verflüssigungssätze zutrifft.

Tabelle 4: Überblick zu Barrieren des Einsatzes von Alternativen in der Gewerbekälte, Relevanz der Barrieren und potentielle Maßnahmen

Barrieren: Gewerbekälte	Bewertung der Relevanz	Potentielle Maßnahmen
Ökonomische Barrieren		
Höhere Investitionskosten bei Anlagen mit halogenfreien Alternativen wegen aufwendigerer Sicherheitstechnik (u.a. UNEP 2010, S. 43). Adressat der Kosten: Endnutzer, v.a. Betreiber von Zentralanlagen	HOCH Effizienz: Die Investitionskosten für AT liegen derzeit über denen von Referenztechnologien und bedingen in vielen Fällen die Wahl von Referenz-Technologien. Effektivität: Relativ hohe Emissionseinsparungen sind in der Gewerbekälte möglich, da Kältemittel mit hohem Treibhauspotenzial verwendet werden (R404A) und v.a. Zentralanla-	Schaffung von Rechtssicherheit für große Investitionsentscheidungen. Regulierung und Verteuerung der konventionellen Technologien (Schwarz et al. 2011, S. 276; UNIDO 2010, S.5) zur Umstellung des Marktes auf Alternativtechnologien: Phase down; Verbote bisheriger Technologien; fiskalische Maßnahmen etc. Finanzielle Anreize für Endnut-

[11] Angenommen wird, dass 80% der Anlagen als R404A-Direktsysteme und 20% der Anlagen als R134a-Direktsysteme bestehen.

Barrieren: Gewerbekälte	Bewertung der Relevanz	Potentielle Maßnahmen
	gen hohe Leckageraten aufweisen.	zer zur Umstellung auf Alternativtechnologien: Fortführung des Förderprogramms des BMU für gewerbliche Kälteanlagen.
Technische Barrieren		
Sicherheit von brennbaren Alternativen bei steckerfertigen Geräten	GERING Effizienz: Energieeffiziente Geräte mit halogenfreien Alternativen werden von vielen europäischen Herstellern zu gleichen Kosten wie Referenztechnologien angeboten. Effektivität: Vergleichsweise geringe Reduzierung von HFKW-Emissionen möglich wegen kleiner Füllmengen	Information über und Marketing für „grüne“ Produkte um auf ihre Verfügbarkeit aufmerksam zu machen (UNEP 2010, S. 32) z.B. durch Veröffentlichungen wie von der British Refrigeration Association (BRA) zu gewerblichen Anlagen mit KW-Füllmengen ›150 g. Vergabe von Umweltzeichen für klimafreundliche Massenprodukte. Anpassung von Standards und Normen, z.B.US SNAP Rules: Aufnahme von R290 als Kältemittel in neuen gewerblichen Lebensmittelkühl- und -gefriergeräten erfolgt (US EPA 2012).
Sicherheit von brennbaren Alternativen bei Verflüssigungssätzen	MITTEL Effizienz: Sicherheitsfragen noch nicht für alle Anwendungsbereiche geklärt. Die Investitionskosten für Alternativen liegen deutlich über denen von Referenztechnologien. Effektivität: Relevantes Potenzial zur Emissionseinsparung	Förderung von Forschung und Entwicklung Weiterentwicklung von Sicherheitsstandards und technischen Vorschriften, um neue Erkenntnisse einfließen zu lassen.
Anspruchsvolle technische Lösungen und komplexes Design bei Alternativtechnologien (UNEP 2010, S. 28f). Betrifft v.a. Zentralanlagen	GERING Zunehmende Nachfrage nach Alternativtechnologien mit anspruchsvollem Anlagen- und Gebäudedesign durch große Handelsketten (v.a. CO_2-Anlagen) hat in Mitteleuropa zu Entwicklungsanstrengungen und vermehrtem Angebot von entsprechenden speziellen Planungs- und Bauleistungen geführt. Schulungen zu Alternativen werden vermehrt angeboten und angenommen.	Information und Werbung für technisch anspruchsvolle, langlebige Anlagen; Förderung der Aus- und Weiterbildung von technischem Personal in Bezug auf halogenfreie Alternativen. Modell-Anlagen zur Darstellung der Funktionsweisen von Alternativen und für Ausbildungszwecke (Ciconcov 2010; UNEP 2010, S. 32; GIZ Proklima 2011d; UNIDO 2010, S. 6), v.a. auch in Südeuropa, Entwick-

Barrieren: Gewerbekälte	Bewertung der Relevanz	Potentielle Maßnahmen
		lungs- und Schwellenländern.
Information/ Wissen/ Akzeptanz		
Mangel an Training und Know How im Umgang mit alternativen Kältemitteln (Experte: M. Liehm, 25.09.12; UNEP 2010, S. 33; Shecco 2012 S.96) bei Anlagenbauern und Servicefirmen.	HOCH Effizienz: Investitionen in Aus- und Weiterbildung bzw. strukturelle Änderungen der Bildungssysteme sind relativ kostengünstig und sichern Arbeitsplätze. Effektivität: Führt langfristig zu hohen Einsparungen an Treibhausgasemissionen, anwendungsübergreifend relevant (auch für stationäre Klimatisierung).	Schaffung von Rechtssicherheit hinsichtlich der künftigen Einsatzmöglichkeiten von Referenz- und Alternativtechnologien; Förderung der Aus- und Weiterbildung von technischem Personal in Bezug auf halogenfreie Alternativen. Einrichtung von Beratungsangeboten, auch für Fachpersonal; Bündelung und Verbreitung existierender Kenntnisse in der Fachöffentlichkeit; Aufbereitung, Veröffentlichung und Verbreitung von unabhängigen technischen Informationen, auch in web-basierter Form, z.B. REAL Skills Europe (E-Learning).
Standardisierung/ Regulierung		
Standards verbieten Einsatz von brennbaren Kältemitteln im Kundenbereich von gewerblichen Einrichtungen v.a. steckerfertige Geräte	In Europa: GERING International: MITTEL Effektivität: Nur geringe Emissionsreduzierung wegen kleiner Füllmengen.	Anpassung von Standards und Normen zur Integration neuer technischer Studien z.B.US SNAP Rules: Aufnahme von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln als Alternativen in neuen gewerblichen Lebensmittelkühl- und –gefriergeräten mit Füllmengen bis 150 g (US EPA 2012).

2.3.2 Dämmstoffe

Die F-Gas-Emissionen aus Anwendungen von Dämmschäumen lagen 2012 in Deutschland bei

- ca. 250 kt CO_2 Äq. aus PU-Schaumanwendungen (GWP_{100} nach 4.IPCC-Sachstandsbericht, inkl. HFKW-245fa und HFKW-365mfc),
- ca. 470 kt CO_2 Äq. aus XPS-Schaumanwendungen (GWP_{100} nach 4.IPCC-Sachstandsbericht).

Als Referenztechnologien werden folgende Technologien bzw. Treibmittel angenommen (Anhang 7.1.2):

- XPS-Schaum: HFKW-134a (80%); HFKW-152a (20%).
- PU-Spritzschaum: HFKW-365mfc/HFKW-245fa
- PU-Blockschaum: HFKW-365mfc/HFKW-245fa.

Als klimafreundliche Alternativtechnologien werden folgende Technologien gesehen:

- XPS-Schaum- Alternativen zu HFKW-134a: Alkohol/CO_2; HFKW-1234ze.
- XPS-Schaum – Alternativen zu HFKW-152a: Kohlenwasserstoffe; HFKW-1234ze.
- PU-Spritzschaum: H_2O; HFKW-1234zd.
- PU-Blockschaum: Kohlenwasserstoffe (Pentan); HFKW-1234zd.

Tabelle 5 stellt Barrieren für den Einsatz von Alternativen zu HFKW in Dämmstoff-Anwendungen zusammen.

Auch bei Dämmstoff-Anwendungen sind ökonomische Barrieren von großer Bedeutung. In Deutschland, wo bereits viele Produktionsanlagen auf halogenfreie Alternativen umgestellt wurden, ist aber auch hervorzuheben, dass für die verbleibenden Anwendungen keine halogenfreien Alternativen zur Verfügung stehen. Wie im Expertengespräch im Oktober 2012 bestätigt wurde, ist die Umstellung auf ungesättigte HFKW aber möglich.

Tabelle 5: Überblick zu Barrieren des Einsatzes von Alternativen bei Dämmstoffen, Relevanz der Barrieren und potentielle Maßnahmen

Barrieren: Dämmstoffe	Relevanz der Barrieren	Potentielle Maßnahmen
Ökonomische Barrieren		
Hohe Investitionskosten für Hersteller: XPS: Kosten für Umbau der Produktionsanlagen von XPS-Hartschaum, da die Auslegung den höheren Drücken von CO_2 angepasst werden muss. PU-Hartschäume: Hohe Kosten für den Umbau der PU-Produktionsanlagen für Hartschaum (UBA 2010, S.168; GTZ Proklima 2009, S.70): Entflammbarkeit von Pentan erfordert Anpassungen von Verarbeitungsanlagen und Verarbeitungsprozessen, Transport und Lagerung des Treibmittels. Diese Umstellungskosten sind besonders relevant in kleineren Firmen mit diskontinuierlichem Betrieb (Bipro 2008, S.57).	MITTEL Effizienz: Hohe Vermeidungskosten in den verbliebenen Unteranwendungen. Effektivität: In Deutschland nur noch geringes Potenzial zu Emissionsreduktionen, da die Umstellung von Produktionslinien oftmals bereits stattgefunden hat (Expertengespräch Oktober 2012). International: Umstellung der Schaumproduktion erfolgte oft von ODS zu HFKW. Daher besteht vor allem Potenzial zur langfristigen Emissionsvermeidung (Entsorgungsemissionen).	Schaffung von Rechtssicherheit für große Investitionsentscheidungen. Regulierung und Verteuerung der konventionellen Technologien (Schwarz et al. 2011, S. 276; UNIDO 2010, S.5) zur Umstellung des Marktes auf Alternativtechnologien: Phase down; Verbot bisheriger Technologien; fiskalische Maßnahmen etc. Verbreitung von Information über ökonomische Vorteile bei Herstellung und Entsorgung: PU-Hartschäume: Geringe laufende Kosten für Pentan als Treibmittel, weltweite Verfügbarkeit, gute Isolationseigenschaften von Pentan-geschäumten PU-Hartschäumen (GTZ Proklima 2009; S.114). Entsorgung von Pentan-geschäumten Produkten auch künftig unproblematisch (GTZ Proklima 2009; S.70), während Entsorgung von HFCKW/HFKW-geschäumten Produkten mit hohen Kosten und technischen Problemen einher geht und bisher kaum technische Lösungen verfügbar sind. Entsorgung von HFKW-geschäumten Bauprodukten mit Rückgewinnung der HFKW-Treibmittel ist derzeit noch unüblich und wird künftig mit besonders hohen Kosten verbunden sein (ca. 53 €/t CO_2 Äq; EU allgemein) (ICF 2010; S.59).

Barrieren: Dämmstoffe	Relevanz der Barrieren	Potentielle Maßnahmen
Abhängigkeit von der Preisentwicklung ungesättigter HFKW als Alternativen, die von nur zwei Herstellern kommerzialisiert werden (Experten: O. Loebel, ISOPA,; N. Rauscher, 13.02.12).	MITTEL Kosten für ungesättigte HFKW als Treibmittel sind hoch. Effektivität: Trotzdem nur relativ geringe Emissionseinsparungen möglich.	Förderung von Forschung und Entwicklung in staatlichen Forschungseinrichtungen und in Unternehmen: Forschungsförderung.
Technische Barrieren		
Verfügbarkeit von halogenfreien Alternativen zu HFKW: XPS/PU: Für manche Nischenanwendungen, in D vor allem noch verbliebene HFKW-Anwendungen, sind keine halogenfreien Anwendungen verfügbar (z.B. Prothesenherstellung; Expertengespräch, Berlin, 23.10.12). Dies liegt u.a. an den physikalischen Eigenschaften von CO_2 und Ethanol, die vgl. mit anderen Treibmitteln schlechter sind (GTZ Proklima 2009; S.89).	MITTEL Effizienz: Mitteleinsatz für Forschung und Entwicklung erforderlich. Effektivität: In Deutschland nur noch geringes Potenzial zu Emissionsreduktionen, da die Umstellung von Produktionslinien oftmals bereits stattgefunden hat (Expertengespräch Oktober 2012).	Förderung von Forschung und Entwicklung von Alternativtechnologien (fluorierte Ether; auch ungesättigte HFKW) für Dämmstoff-Anwendungen, in denen bisher keine Alternativen verfügbar sind bzw. für die hohe Kosten anfallen (UNEP 2011; S.32).
Information/ Wissen/ Akzeptanz		
Mangelndes Bewusstsein für Umweltwirkungen halogenierter Substanzen: Bei Dämmstoffen ist die Problematik der Entsorgung relevant. Heute sind Technologien zur Entsorgung von HFCKW- und HFKW-haltigen Schaumprodukten für Gebäudeisolierungen nicht verfügbar bzw. nur bei Hausgeräten und kleinen Kühlmöbeln eingesetzt.	MITTEL Effektivität: Durch Umstellung auf Alternativen können künftig hohe Entsorgungsemissionen vermieden werden.	Bündelung, Aufbereitung und Verbreitung von Informationen und Know How zu Alternativtechnologien: Erstellung und Verbreitung von Informationsmaterial zu Alternativtechnologien (z.B. Publikationen wie GIZ Proklima, 2009). Einrichtung einer Informationsstelle/ Kompetenznetzwerks, ggf. Internetbasiert. Regulierung z.B. durch Verbote: Ein EU-weites Verbot der Verwendung von HFKW als Treibmittel in XPS- und PU-Schaumprodukten ist u.U. denkbar und kann auch als Instrument zur Sensibilisierung von Herstellern und Endkunden dienen.

2.3.3 Stationäre Klimatisierung: Flüssigkeitskühlsätze

Die F-Gas-Emissionen aus Flüssigkeitskühlsätzen lagen 2012 in Deutschland bei ca. 360 kt CO_2 Äq. (GWP nach 4. IPCC-Sachstandsbericht).

Als Referenztechnologien werden folgende Technologien bzw. Kältemittel angenommen (Anhang 7.1):

- Flüssigkeitskühlsätze klein: R410A
- Flüssigkeitskühlsätze groß: R134a
- Turboverdichter-Anlagen: R134a

Als klimafreundliche Alternativtechnologien werden folgende Technologien im Modell berücksichtigt und mit Marktdurchdringungsraten für Deutschland in den Jahren 2015, 2020 und 2030 hinterlegt:

- Flüssigkeitskühlsätze klein: R290; R723; R744 transkritisch; R1234yf.
- Flüssigkeitskühlsätze groß: R290; R717; R744 transkritisch; R1234yf.
- Turboverdichter-Anlagen: R290 (nur in der Prozesskälte); R718; R1234ze.

Tabelle 6 stellt Barrieren für den Einsatz von Alternativen zu HFKW in Flüssigkeitskühlsätzen zusammen.

Ökonomische Barrieren spielen auch bei Flüssigkeitskühlsätzen eine wichtige Rolle, da größere Anlagen auch mit hohen Investitionskosten verbunden sind. Daneben ist der Mangel an Information/Wissen/Akzeptanz ein anwendungsübergreifendes Hindernis in der Kälte- und Klimatechnik dar, im Besonderen in der der Aus- und Weiterbildung von Fachpersonal.

Tabelle 6: Überblick zu Barrieren des Einsatzes von Alternativen bei Flüssigkeitskühlsätzen, Relevanz der Barrieren und potentielle Maßnahmen

Barrieren: Flüssigkeitskühlsätze	Relevanz der Barrieren	Potentielle Maßnahmen
Ökonomische Barrieren		
Hohe Investitionskosten. Brennbarkeit und/oder Toxizität von Alternativtechnologien machen Sicherheitsmaßnahmen erforderlich, welche die Anlagen vor allem in der Anschaffung verteuern. Höhere Anschaffungskosten gelten auch für Systeme mit CO_2 oder (im Fall von Turboverdichtern) auch bei Wasser als Kältemittel.	HOCH Effizienz: Die Investitionskosten für AT liegen derzeit über denen von Referenztechnologien und bedingen in vielen Fällen die Wahl von Referenz-Technologien. Effektivität: Relativ hohe Emissionseinsparungen sind möglich, da Kältemittel mit relativ hohem Treibhauspotenzial verwendet werden und v.a. einzelgefertigte Anlagen z.T. hohe Leckageraten aufweisen.	Schaffung von Rechtssicherheit für große Investitionsentscheidungen. Regulierung und Verteuerung der konventionellen Technologien (Schwarz et al. 2011, S. 276; UNIDO 2010, S.5) zur Umstellung des Marktes auf Alternativtechnologien: Phase down; Verbot bisheriger Technologien; fiskalische Maßnahmen etc. Finanzielle Anreize für Endnutzer zur Umstellung auf Alternativtechnologien: Fortführung des Förderprogramms des BMU für gewerbliche Kälteanlagen,

Barrieren: Flüssigkeitskühlsätze	Relevanz der Barrieren	Potentielle Maßnahmen
		das auch für Klima-Anwendungen genutzt werden kann. Verbreitung von Information über ökonomische Vorteile bei Betriebskosten: Amortisation von höheren Investitionen durch geringere Betriebskosten in kurzer Zeit möglich (Ciconcov 2010, S. 9). Energieverbrauch von Alternativtechnologien u.U. geringer, v.a. indirekte Systemen mit Kohlenwasserstoffen (Sekundärkreislauf Wasser oder verdampfendes CO_2) können den herkömmlichen direkten HFKW-Systemen energetisch gleichwertig sein (UNEP 2010). Häufig können auch z.B. anstelle von VRF-Systemen kleine Flüssigkeitskühlsätze eingesetzt werden, die preiswerter sind. Ungesättigte HFKW können auch direkt eingesetzt werden (Schwarz et al. 2011, Annex S. 314). NH_3 oder R723 wird bereits ab 200 kW und tw. darunter verwendet und weist besonders günstige thermodynamische Eigenschaften auf (UNEP 2010; Shecco 2012 S.17).
Information/ Wissen/ Akzeptanz		
Mangel an Training und Know How im Umgang mit alternativen Kältemitteln (M. Liehm, 25.09.12; UNEP 2010, S. 33; Shecco 2012 S.96) bei Anlagenbauern und Servicefirmen.	HOCH Effizienz: Investitionen in Aus- und Weiterbildung bzw. strukturelle Änderungen der Bildungssysteme sind relativ kostengünstig und sichern Arbeitsplätze. Effektivität: Führt langfristig zu hohen Einsparungen an Treibhausgasemissionen, anwendungsübergreifend relevant (auch für Kälteanwendungen).	Schaffung von Rechtssicherheit hinsichtlich der künftigen Einsatzmöglichkeiten von Referenz- und Alternativtechnologien; Förderung der Aus- und Weiterbildung von technischem Personal in Bezug auf halogenfreie Alternativen. Einrichtung von Beratungsangeboten auch für Fachpersonal; Bündelung und Verbreitung existierender Kenntnisse in der Fachöffentlichkeit;

Barrieren: Flüssigkeitskühlsätze	Relevanz der Barrieren	Potentielle Maßnahmen
		Aufbereitung, Veröffentlichung und Verbreitung von unabhängigen technischen Informationen, auch in web-basierter Form, z.B. REAL Skills Europe (E-Learning).
Standardisierung/ Regulierung		
Standards enthalten Beschränkungen für Füllmengen brennbarer Kältemittel, die oft als verbindlich angesehen werden.	GERING: Effektivität: Brennbare Kältemittel können bei richtiger Auslegung der Standards bzw. Durchführung von Einzelfallprüfungen und zur Anlagensicherheit vor Ort (Cohr Pachai 2011; Experten: B. Schrempf, 22.11.12; P. Tünte, 25.09.12; B. Dunst, Frigoteam, 22.11.12) heute problemlos eingesetzt werden. Daher ergeben sich nur geringe Potenziale für weitere Emissionseinsparungen.	Finanzierung von technischen Beurteilungen und Studien, um den Stand der Technik zu erheben, darzustellen und weiterzuentwickeln. Veränderungen der Standards und Regeln (UNEP 2010, S. 64; UNIDO 2010, S. 8), sofern erforderlich.

2.3.4 Stationäre Klimatisierung: Raumklimageräte

Die F-Gas-Emissionen aus Raumklimageräten lagen 2012 in Deutschland bei ca. 470 kt CO_2 Äq. (GWP nach 4. IPCC-Sachstandsbericht).

Als Referenztechnologie wird für alle Unteranwendungen das Kältemittel R410A in Direktverdampfung angenommen (Anhang 7.1).

Als klimafreundliche Alternativen werden folgende Technologien im Modell berücksichtigt und mit Marktdurchdringungsraten für Deutschland in den Jahren 2015, 2020 und 2030 hinterlegt:

- Mobile Raumklimageräte und Split-Klimageräte: R290 direkt; R744 transkritisch; R1234yf direkt; R32 direkt.
- Multisplit/VRF-Systeme: R290 indirekt (Sole); R744 transkritisch; R1234yf direkt; R290+CO_2-Kälteträger (selbstverdampf. Zweitkreislauf).

In Tabelle 7 sind Barrieren für den Einsatz von Alternativen zu HFKW in Raumklimageräten zusammengestellt. Da es sich bei den in Europa auf den Markt gebrachten Raumklimageräten meist um Importprodukte aus Asien handelt, stellt die Ausbildung von Personal in dieser Anwendung in Europa keine relevante Barriere dar. Mangelnde Akzeptanz von brennbaren Kältemitteln ist hingegen ein wichtiges Hindernis

Tabelle 7: Überblick zu Barrieren des Einsatzes von Alternativen bei Raumklimageräten, Relevanz der Barrieren und potentielle Maßnahmen

Barrieren: Raumklimageräte	Bewertung der Relevanz	Potentielle Maßnahmen
Ökonomische Barrieren		
Hohe Investitionskosten. Brennbarkeit und/oder Toxizität von Alternativtechnologien machen Sicherheitsmaßnahmen erforderlich, welche die Anlagen vor allem die Umstellung von Produktionsanlagen verteuern. Multisplit-Systeme einschl. VRF-Technologie mit höheren Füllmengen als einfache Split-Geräte: indirekte Anwendungen mit KWs oder CO_2 sind in der Ausstattung aufwendiger und damit in der Anschaffung deutlich teurer als die herkömmlichen HFKW-Direktanwendungen, wenn sie den Energieverbrauch halten sollen (Schwarz et al. 2011, Annex S.315).	HOCH Effizienz: Bisher sind im Bereich der Raumklimageräte kaum Alternativen auf dem deutschen/ europäischen Markt erhältlich. Effektivität: Führt langfristig zu hohen Einsparungen an Treibhausgasemissionen, auch international, da die Klimatisierung weltweit besonders hohen Wachstumsraten unterliegt.	Regulierung und Verteuerung der konventionellen Technologien (Schwarz et al. 2011, S. 276; UNIDO 2010, S.5) zur Umstellung des europäischen Marktes auf Alternativtechnologien und damit Schaffung von Nachfrage nach Alternativen auch bei Importprodukten: Phase down; Verbot bisheriger Technologien; fiskalische Maßnahmen etc. Verbreitung von Information über ökonomische Vorteile bei Betriebskosten: Amortisation von höheren Start-Investitionen durch geringere Betriebskosten, da der Energieverbrauch von Alternativtechnologien geringer ist (Experten der Firma Godrej, Indien; pers. Mitt.10.10.12). Internationale Abkommen, Finanzierung und Ausbau von Modellprojekten bei der Umstellung der Produktion: Erfolgreiche Modellprojekte in Entwicklungsländern bestehen bereits (z.B. Indien, China; GIZ Proklima 2012) und sollten ausgeweitet werden.
Technische Barrieren		
Sicherheit von brennbaren Alternativen	MITTEL Effizienz: In Europa sind nur wenige Produktionsanlagen ansässig, vorwiegend erfolgt Import von vorbefüllten Anlagen aus Asien. Effektivität: Relevante Emissionseinsparungen sind bei weiterem Wachstum des Klimatisierungsmarktes zu erwarten.	Regulierung von HFKW-Mengen in Importprodukten. Vergabe von Umweltzeichen für klimafreundliche Massenprodukte wie Raumklimageräte. Weiterentwicklung von Standards und technischen Vorschriften, um neue Erkenntnisse einfließen zu lassen. Evtl. Produktnorm für Raumklimageräte mit eigenen Sicherheitsvorgaben.
Information/ Wissen/ Akzep-		

Barrieren: Raumklimageräte	Bewertung der Relevanz	Potentielle Maßnahmen
tanz		
Mangel an Training und Know How im Umgang mit alternativen Kältemitteln, v.a. brennbaren Kältemitteln (UNEP 2010, S. 33; Shecco 2012 S.96).	HOCH Effizienz: Investitionen in Aus- und Weiterbildung bzw. strukturelle Änderungen der Bildungssysteme sichern die Arbeitsplätze und unterstützen die Marktdurchdringung von Alternativen. Effektivität: Führt langfristig zu hohen Einsparungen an Treibhausgasemissionen, anwendungsübergreifend relevant (auch für andere Kälte- und Klimaanwendungen).	Schaffung von Rechtssicherheit hinsichtlich der künftigen Einsatzmöglichkeiten von Referenz- und Alternativtechnologien; Förderung der Aus- und Weiterbildung von technischem Personal in Bezug auf halogenfreie Alternativen (der indische Hersteller Godrej bietet Produkt-Schulungen für Installateure und Wartungspersonal an; pers. Mitt. 10.12.12). Einrichtung von Beratungsangeboten, auch für Fachpersonal; Bündelung und Verbreitung existierender Kenntnisse in der Fachöffentlichkeit; Aufbereitung, Veröffentlichung und Verbreitung von unabhängigen technischen Informationen, auch in web-basierter Form, z.B. REAL Skills Europe (E-Learning).
Standardisierung/ Regulierung		
Standards enthalten Beschränkungen für Füllmengen brennbarer Kältemittel, die oft als verbindlich angesehen werden.	MITTEL; Effizienz: In Europa sind nur wenige Produktionsanlagen ansässig, vorwiegend erfolgt Import aus Asien. Effektivität: Relevante Emissionseinsparungen sind bei weiterem Wachstum des Klimatisierungsmarktes zu erwarten.	Finanzierung von technischen Beurteilungen und Studien, um den Stand der Technik zu erheben, darzustellen und weiterzuentwickeln. Evtl. Produktnorm für Raumklimageräte mit eigenen Sicherheitsvorgaben. Veränderungen der Standards und Regeln (UNEP 2010, S. 64; UNIDO 2010, S. 8), sofern erforderlich.

3 Methoden für Modellierung und Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen fluorierter Treibhausgase

3.1 Überblick über betrachtete Maßnahmen

- Marktbasierte Instrumente

Der EU-Vorschlag vom November 2012 zur Reduzierung der EU F-Gas-Emissionen enthält einen Zeitplan für EU-weite Mengenbeschränkungen für das Inverkehrbringen von HFKW. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die Auswirkungen dieser EU-weiten Mengenbeschränkungen für HFKW in Deutschland im Kontext der landesspezifischen Möglichkeiten zur Reduzierung der Verwendung von HFKW untersucht.

Eine deutsche HFKW-Steuer wurde einerseits als ergänzende nationale Maßnahme zu den EU-weiten Mengenbeschränkungen und andererseits als eigenständige nationale Maßnahme betrachtet.

- Verbote der Verwendung und des Inverkehrbringens

Die Verbotsmaßnahmen für F-Gase auf EU-Ebene gemäß der F-Gase-Verordnung (EG) Nr. 842/2006 umfassen Verwendungsverbote in einigen offenen Anwendungen (Artikel 8) und Verbote des Inverkehrbringens von Produkten und Systemen, die fluorierte Treibhausgase enthalten (Art. 9). Auf EU-Ebene wurden im Rahmen der Revision der F-Gase-Verordnung verschiedene weitergehende Verbote diskutiert, die sowohl offene Anwendungen als auch geschlossene Produkte und Systeme umfassten. In der vorbereitenden Studie (Schwarz et al. 2011) wurde für eine bestimmte Anwendung ein Verbot von F-Gasen ab einem spezifischen Jahr vorgeschlagen, wenn die Marktdurchdringung möglicher Alternativen – in Kälte-Klima-Sektoren für Neuanlagen in der betreffenden Anwendung 100% erreicht hat oder Ausnahmen klar abgegrenzt werden können. Als Kostenschwelle wurden Emissions-Vermeidungskosten von 50 €/t CO_2 Äq. angesetzt. Auf dieser Basis wurden einige Verwendungsverbote für HFKW und SF_6 für möglich erachtet und die Jahre für den potentiellen Beginn solcher Verbote sowie die Vermeidungskosten in Europa ermittelt. Tabelle 8 führt diese Ergebnisse für die Hauptanwendungen der vorbereitenden Studie an.

Tabelle 8: Möglicher Beginn von Verbotsmaßnahmen und Emissions-Vermeidungskosten im Jahr 2030 in der EU in den betrachteten Anwendungen (Schwarz et al. 2011).

Anwendung	Möglicher Beginn eines Verbots	Vermeidungskosten (€/t CO_2 Äq.)
Gewerbekälte	2020	Zentrale Systeme: 23,70 Verflüssigungssätze: 1,20 Steckerfertige Geräte: -0,8
Flüssigkeitskühlsätze (Chiller)	Klein (< 100 kW) und groß (> 100 kW): 2020 Turboverdichter: 2030	Klein (< 100 kW) und groß (> 100 kW): 5,90 Turboverdichter: 11,10
Mobile und stationäre Raumklimageräte	2020	Mobile Raumklimageräte: 8,90 Split Systeme: 19,00 Multi Split Systeme: 13,10 Rooftop Systeme: 8,20
Dämmstoffe	2015 (ohne Spritzschaum)	XPS mit 134a: 1,00 XPS mit 152a: -1,60

Anwendung	Möglicher Beginn eines Verbots	Vermeidungskosten (€/t CO_2 Äq.)
		PU Spritzschaum: 61,60 Anderer PU Schaum: 3,50

- Weitere Maßnahmen

Als weitere Maßnahmen werden Forschung, Information und Weiterbildung, Fördermaßnahmen sowie die Beteiligung an der Gestaltung von Normen und Standards vorgestellt.

3.2 Modellierung der Maßnahmen

3.2.1 Überblick über Szenarien und grundlegende Annahmen

Die Darstellung der Maßnahmen erfolgt im Wesentlichen auf der Grundlage eines deutschen F-Gas-Modells, das analog zur Berechnungsmethodik für die EU (Modell AnaFgas) entwickelt worden war.

Im Unterschied zum Modell AnaFgas für die EU-27, das im Auftrag der EU-Kommission von Öko-Recherche entwickelt wurde, ist der Ausgangsdatensatz detaillierter und berücksichtigt an zahlreichen Stellen landesspezifische Unterschiede; über die EU-Gesetzgebung hinaus werden spezifische deutsche Vorgaben berücksichtigt.

Das deutsche F-Gas-Modell wird im Rahmen der F-Gas-Berichterstattung für das Umweltbundesamt jährlich durch aktuelle Daten ergänzt. Methodische Fortentwicklungen des Modells in einigen Sektoren waren Gegenstand eines UBA-Vorhabens (FKZ 363 01 351), welches ebenfalls von Öko-Recherche bearbeitet wurde und seit Ende 2012 abgeschlossen ist[12]. Anpassungen des deutschen Modells an geänderte Anforderungen an die Berichterstattung durch die neuen IPCC Guidelines 2006 und die Revised UNFCCC Reporting Guidelines wurden durch ein anderes Vorhaben ebenfalls abgedeckt[13].

Für die Darstellung und Analyse der betrachteten Maßnahmen bzw. Maßnahmenpakete werden zunächst zwei Szenarien als generische Szenarien für den Zeitraum bis 2030 erstellt:

- *Das **Referenzszenario (REF)**, das die Entwicklung von F-Gas-Verbrauch* und F-Gas-Emissionen für alle analysierten 28 HFKW-Sektoren[14] (s. 7.1.1) bis 2030 projiziert und

[12] Schwarz, W.; Gschrey, B.; Kimmel, T.; Leisewitz, A.; Sauer, J.: 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, Schlussbericht, Juni 2012.

[13] „Implementierung der ab dem Berichtsjahr 2013 gültigen IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006 in der Inventarerhebung fluorierter Treibhausgase (HFKW, FKW, SF_6, NF_3)." (FKZ 3712411031).

[14] Von den insgesamt 43 Sektoren mit HFKW-Anwendung sind 15 nicht auf ihr Reduktionspotential untersucht worden: 12 Sektoren wie etwa Kranklimageräte oder Lösemittel sind relativ klein und kaum mengenrelevant. Nachfrage und Emissionen im sehr großen Sektor der Pkw-Klimaanlagen sowie deren starker Rückgang aufgrund der MAC-Richtlinie (Ausstieg aus R-134a) sind Bestandteile des Referenzszenarios, nicht erst des Minderungsszenarios. Zwei der 15 in dieser Studie nicht auf alternative Technologien hin analysierten Sektoren sind jedoch mengenmäßig bedeutsam, nämlich medizinische Dosieraerosole (MDI) und Wärmepumpenwäschetrockner (letztere nicht wegen der Emissionen, sondern wegen der Nachfrage zur Befüllung). MDI und Wärmepumpenwäschetrockner bilden im Min-

Annahmen zu den Auswirkungen der EU F-Gase-Verordnung, der MAC-Richtlinie sowie der ChemKlimaschutzV enthält. Dieses Szenario stellt kein Business-as-usual-Szenario dar, da bereits einige Maßnahmen umgesetzt bzw. in Gang gekommen sind: Emissionsrückhaltung und Rückgewinnung von Kältemitteln durch zertifiziertes Personal (Art. 3, 4, 5) und die Verbotsmaßnahmen (Art. 8, 9) der EU F-Gase-Verordnung. Es beschreibt die vollständige Umsetzung der EU-F-Gas-Gesetzgebung von 2006 auf der Basis von Annahmen über das Marktwachstum der Sektoren bei unveränderter Nutzung bestehender HFKW als Kälte-, Treib- und Feuerlöschmittel. Darüber hinaus ist die Umsetzung der MAC-Richtlinie im Referenzszenario bereits enthalten.

- Das **Szenario des minimalen HFKW-Verbrauchs bzw. der minimalen HFKW-Emissionen (MIN)**, welches ebenfalls die Entwicklung von F-Gas-Verbrauch und F-Gas-Emissionen für alle analysierten 28 HFKW-Sektoren bis 2030 projiziert, jedoch unter der Annahme einer Umstellung auf Alternativen zu HFKW. Dabei ergibt sich die Reduzierung der HKFW-Nachfrage aus der Zunahme der Nachfrage nach Technologien und Verfahren ohne HFKW, die ihrerseits den im Modell enthaltenen Marktdurchdringungsraten (penetration rates) folgen. Die Marktdurchdringungsraten wurden für die verschiedenen Anwendungen von Experten im Rahmen dieses Projekts sowie im Zuge der Studie für die EU-Kommission abgeschätzt. Dabei werden die identifizierten technischen Ersatzoptionen mit den möglichen Marktdurchdringungsraten (MDR) in den Jahren 2015, 2020 und 2030 berücksichtigt, die im Anhang 7.1 dieser Studie wiedergegeben sind. Es wurde dabei eine Kostenschwelle der Emissionsvermeidung von 50 €/t CO_2-Äq. angesetzt[15]. Die Höhe der Vermeidungskosten dient zugleich als Kriterium für die Auswahl der HFKW-freien Alternativen, wenn mehr als eine alternative Option technologisch machbar und finanziell tragbar ist ("penetration mix"). Die Summe der nicht wegen zu hoher Vermeidungskosten ausgeschlossenen Einzelmaßnahmen aller Anwendungsbereiche bestimmt dieses Szenario.

Die Maßnahmen bzw. Maßnahmenpakete werden in **Maßnahmenszenarien** abgebildet. Alle Maßnahmenszenarien liegen innerhalb des Szenarientrichters, der von den beiden generischen Szenarien (REF-Szenario und MIN-Szenario) aufgespannt wird, und werden im Rahmen der Quantifizierung aus diesen sektorweise bzw. *ersatzoptionsweise zusammengesetzt.*

---

derungsszenario zusammen fast 70% der im Jahr 2030 (noch) nicht ersetzten Gesamt-HFKW-Nachfrage. Anzumerken ist hier nachträglich, dass entgegen der Annahme in den Szenarien seit 2013 Wärmepumpen-Wäschetrockner nicht mehr in Deutschland hergestellt, sondern importiert werden, so dass die inländische Nachfrage nach Bulkware in den Szenarien überhöht ist, und zwar im Jahr 2030 um 900 kt CO_2 Äq. bzw. 40%. Der gesamte Minderungseffekt ist daher in dieser Studie zu gering veranschlagt, weil die Verlagerung der Produktion von Wärmepumpen-Wäschtrockern ins (europäische) Ausland noch nicht abzusehen war. Der Import nach Deutschland ist geringer als die ins Ausland verlegte deutsche Produktion und damit auch die dem Inland zuzurechnende HFKW-Nachfrage.

[15] Die Kostenschwelle wurde in Anlehnung an die von der Europäischen Kommission gewählte Kostenschwelle gewählt.

Folgende Maßnahmenszenarien werden erstellt:

- Ein **Phase down Szenario (PD)** soll den europäischen HFKW-Phase down in Deutschland abbilden.
- Ein **Steuerszenario (ST)** bildet Vorschläge für die Besteuerung von HFKW-Mengen ab.

Ein ursprünglich vorgesehenes **Verbotsszenario** entfällt. Die Auswirkungen von EU-weiten HFKW-Verboten für verschiedene Sektoren auf F-Gas-Verbrauch und F-Gas-Emissionen in Deutschland werden qualitativ dargestellt bzw. sind zum Teil im MIN-Szenario enthalten, sofern die Kostenschwelle nicht überschritten wird (Tabelle 9 und Tabelle 30).

Tabelle 9: Anwendungssektoren, in denen im MIN-Szenario 100% Marktdurchdringung der Alternativen im angegebenen Jahr erreicht wird und die daher möglichen Verboten unterliegen können.

Anwendung	Mögl. Beginn eines Verbots (Marktdurchdringung der AT erreicht 100%)
Haushaltskühl- und -gefriergeräte	sofort
Supermarkt-Zentralanlagen	2020
Discounter (Zentralanlagen)	2020
Verflüssigungssätze	2020
Steckerfertige Geräte	2020
Kühlfahrzeuge Transporter	2020
Kühlfahrzeuge Lkw	2030
Container	2030
Mobil Raumklima	2030
Einfache Splitgeräte	2020
Multisplit VRF	2020
Kaltwassersätze (klein)	2020
Kaltwassersätze (groß)	2030
Turboverdichter	2030
Wärmepumpen Heiz	2020
Kraftomnibus Klima	2020
Nutzfahrzeug Klimaanlagen	2030
See-Güterschiffsklima	2020
Schiene Klima	2030
Feuerlösch-23	2015
XPS-Schaum -134a	2020
XPS-Schaum 152a	2020
PU-Spritzschaum	2020
PU-Sonstige	2020

Es wurden einige methodische Grundlagen vereinbart, die für alle Sektoren und Szenarien gelten:

Den Projektionen für Verbrauch und Emissionen fluorierter Treibhausgase in verschiedenen Szenarien sollen die GWP_{100}-Werte des 4. IPCC-Assessment-Reports zugrunde gelegt werden. Falls nachträglich eine Quantifizierung in metrischen Einheiten zum Vergleich mit älteren Daten der Berichterstattung erforderlich werden sollte, ist dies möglich.

Die durch die F-Gase-Verordnung von 2006 hervorgerufenen Minderungen sind bereits in den historischen Daten des deutschen F-Gas-Modells bis 2010 (bzw. 2011) enthalten. Hinsichtlich der Effektivität der EU F-Gase-Verordnung und der deutschen Chemikalien-Klimaschutzverordnung wird die Annahme getroffen, dass die Emissionsfaktoren der Bestands- und Entsorgungsemissionen in allen Sektoren um 30% im Vergleich zu den historischen Zeitreihen (in der Regel ab Stichjahr 2010) sinken. Die Verminderung der Emissionsraten beginnt 2011 und setzt sich schrittweise bis 2020 fort. Die maximalen Leckageraten gemäß der Chemikalien-Klimaschutzverordnung sind in den 30% bereits enthalten und werden nicht gesondert modelliert.

Die Szenarien betreffen ausschließlich HFKW. SF_6 und FKW werden zu den Restemissionen fluorierter Treibhausgase, zu denen auch die (noch) nicht ersetzten HFKW gehören, im Jahr 2030 beitragen. Sie sind nicht Bestandteil der Szenarien, und es werden keine Maßnahmen nur für diese Gase integriert. Für die Erstellung der beiden generischen Szenarien REF und MIN wurden je nach Sektor verschiedene Annahmen zur technischen Weiterentwicklung, zu Kosten und Emissionen für den Zeitraum bis 2030 getroffen, die im Anhang dargestellt sind.

3.2.2 Darstellung von HFKW-Nachfrage und HFKW-Emissionen in den Szenarien

Folgende Abbildung 1 zeigt die HFKW-Nachfrage aller Anwendungen in Deutschland im REF-Szenario und MIN-Szenario.

Deutlich im historischen Kurvenverlauf zu erkennen ist der Nachfragerückgang aufgrund der Wirtschaftskrise im Jahr 2009. Entsprechend den Annahmen entwickeln sich die Szenarien auseinander: Im MIN-Szenario wird nach 2014 eine zunehmende Marktdurchdringung der Alternativtechnologien angenommen. In den ersten Jahren bis 2017 verringert sich die HFKW-Nachfrage in beiden Szenarien, da die Umsetzung der europäischen Fahrzeug-Klimaanlagen-Richtlinie (Richtlinie 2006/40/EG) sowohl im REF-Szenario als auch im MIN-Szenario abgebildet wird. Im MIN-Szenario geht die Nachfrage darüber hinaus noch deutlich stärker zurück, da eine schrittweise zunehmende Marktdurchdringung der Alternativtechnologien auch in anderen Anwendungen angenommen wird.

Neben der HFKW-Nachfrage in beiden Szenarien wird zusätzlich die R22-Nachfrage (ab 2011 Recyclingware) dargestellt, die gemäß den getroffenen Annahmen bis 2018 auf niedrigem Niveau fortdauert.

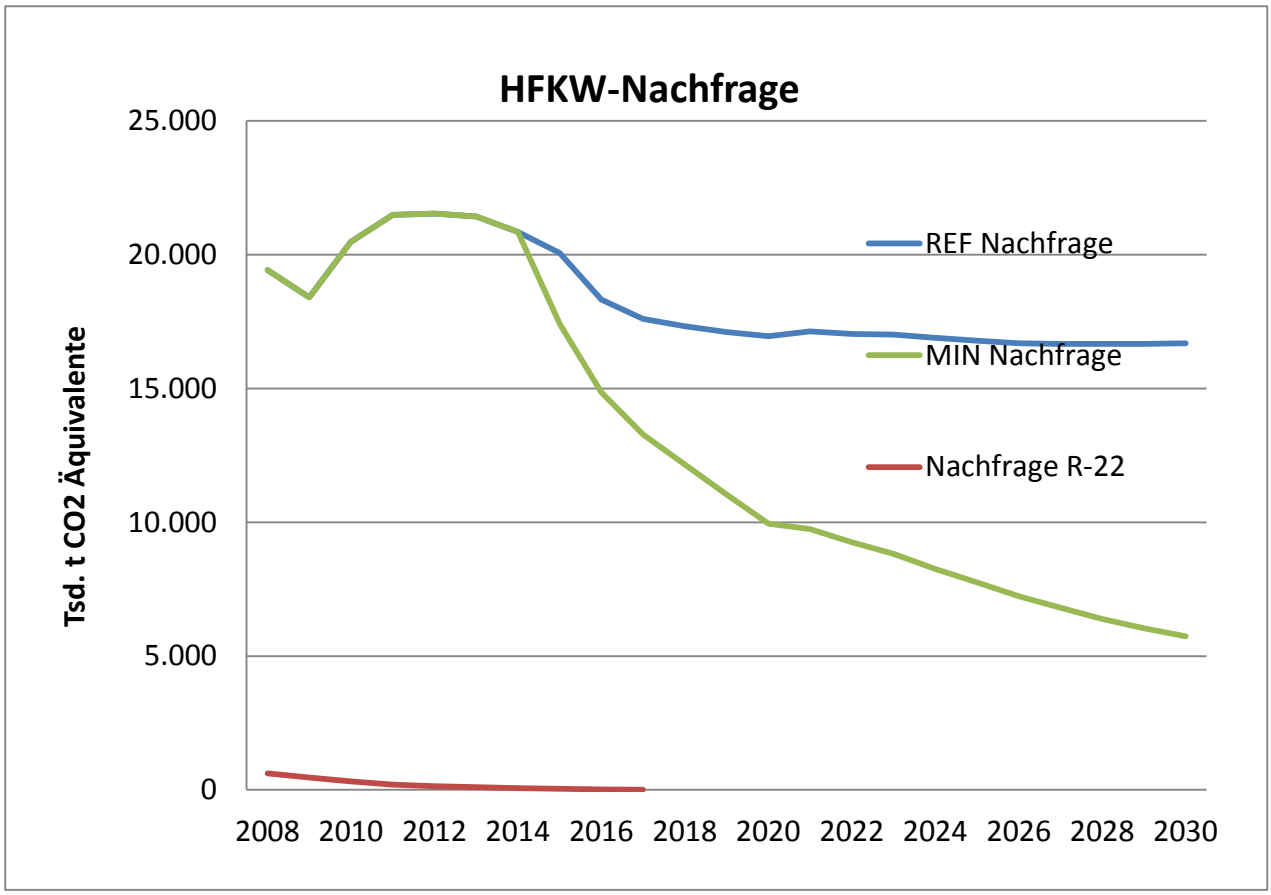


Abbildung 1: HFKW-Nachfrage in Deutschland (kt CO_2 Äq.) in allen Anwendungen im REF- und MIN-Szenario im Zeitraum 2008-2030. R22-Nachfrage entsprechend dem F-Gas-Modell Deutschland, demzufolge das Kältemittel ab 2018 ganz durch HFKW ersetzt ist. Der Rückgang im REF-Szenario 2011 bis 2017 geht vor allem auf die Richtlinie 2006/40/EG zum Ausstieg aus R134a bei Autoklimaanlagen zurück.

Entsprechend können auch die HFKW-**Emissionen** in den Szenarien REF und MIN gemäß der Datensätze des Modells abgebildet werden. Abbildung 2 zeigt Projektionen der HFKW-Emissionen aus allen Anwendungen in Deutschland in beiden Szenarien bis 2030. Die Kurve der HFKW-Emissionen verläuft tiefer als die der HFKW-Nachfrage und etwas zeitversetzt nach der Verringerung der HFKW-Nachfrage (Abbildung 1). Dies hängt u.a. damit zusammen, dass Entsorgungsemissionen als Bestandteil der Gesamtemissionen erst am Ende der Lebensdauer von Anlagen anfallen, während die Nachfragekomponente "Erstbefüllung" bereits am Anfang der Lebensdauer wirksam wird.

Auszüge aus den Datensätzen, auf denen die REF- und MIN-Szenarien basieren, werden im Folgenden wiedergegeben.

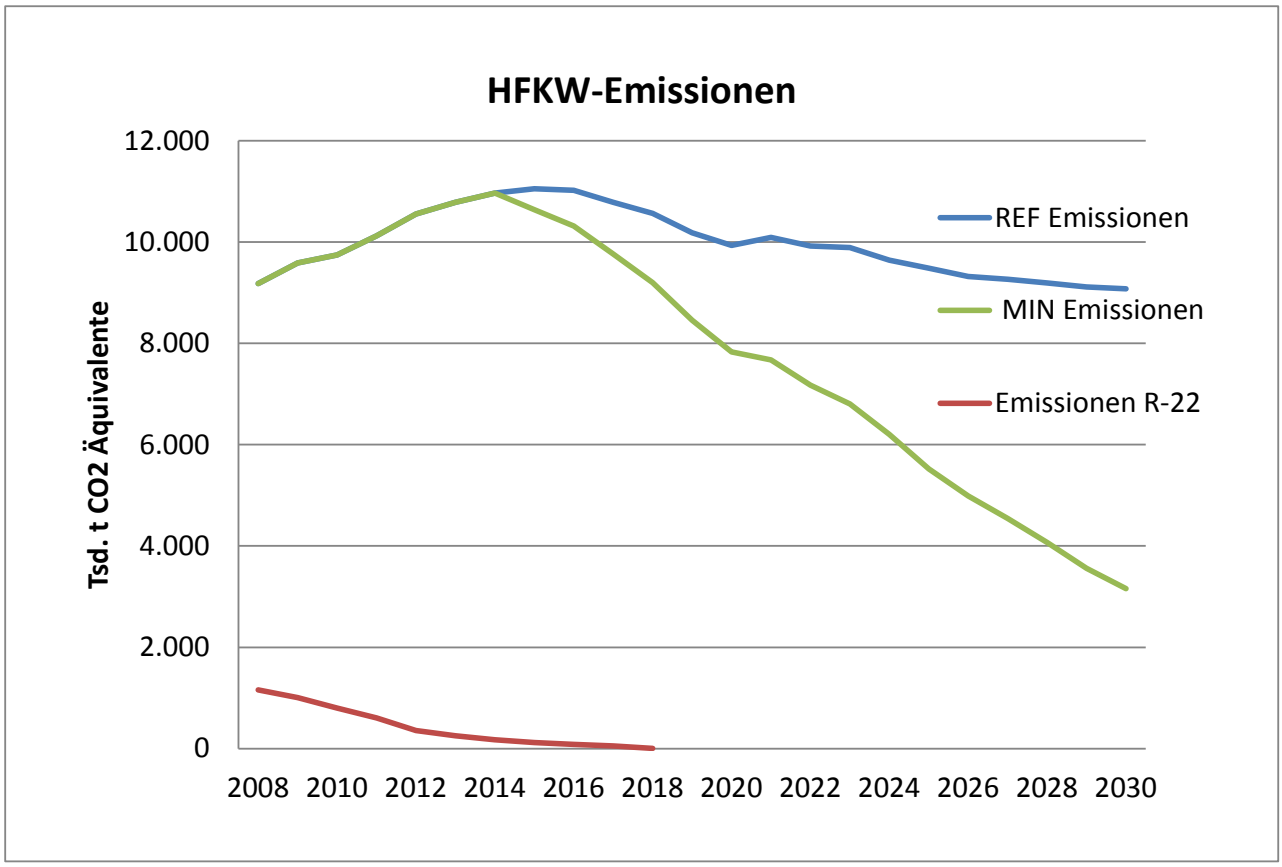


Abbildung 2: HFKW-Emissionen in Deutschland (kt CO_2 Äq) in allen stationären und mobilen Anwendungen in REF-Szenario und MIN-Szenario im Zeitraum 2008-2030. Erläuterungen unter der vorhergehenden Abbildung zur HFKW-Nachfrage.

Tabelle 10 stellt die Datensätze für HFKW-Nachfrage in REF- und MIN-Szenario in allen HFKW-Anwendungen in verschiedenen Jahren im Überblick zusammen. Analog werden die Daten zu HFKW-Emissionen in Tabelle 11 zusammengefasst.

Tabelle 10: HFKW-Nachfrage (kt CO_2 Äq.) in allen Anwendungen in Deutschland gemäß den Annahmen für REF- und MIN-Szenario in den Jahren 2014, 2020 und 2030.

HFKW-Nachfrage alle Anwendungen	REF-Szenario (kt CO_2 Äq.)	MIN-Szenario (kt CO_2 Äq.)
2014	20.854	20.854
2020	16.952	9.951
2030	16.691	5.738

Die HFKW-Nachfrage im Jahr 2014 beträgt in beiden Szenarien 20.854 kt CO_2 Äq. Im REF-Szenario zeigt sich aufgrund der Substitution von HFKW in mehreren Sektoren ein Rückgang bis 2020 auf 16.952 kt CO_2 Äq., danach verringert sich die Nachfrage kaum mehr und beträgt 2030 noch 16.691 kt CO_2 Äq. Im MIN-Szenario nimmt die Nachfrage bereits bis 2020 deutlich ab und beträgt 2020 noch 9.951 kt CO_2 Äq. Bis 2030 erfolgt entsprechend der weiter zunehmenden Marktdurchdringung der Alternativtechnologien der Rückgang der HFKW-Nachfrage auf 5.738 kt CO_2 Äq. (27,5% der HFKW-Nachfrage des Jahres 2014).

Tabelle 11: HFKW-Emissionen (kt CO_2 Äq.) in allen Anwendungen in Deutschland gemäß den Annahmen für REF- und MIN-Szenario in den Jahren 2014, 2020 und 2030.

HFKW-Emissionen alle Anwendungen	REF-Szenario (kt CO_2 Äq.)	MIN-Szenario (kt CO_2 Äq.)
2014	10.967	10.967
2020	9.936	7.829
2030	9.080	3.159

Die HFKW-Emissionen aller Anwendungen im Jahr 2014 betragen im Modell in beiden Szenarien 10.967 kt CO_2 Äq. Im REF-Szenario findet ein Rückgang bis 2030 auf 9.936 kt CO_2 Äq. statt (90% der HFKW-Emissionen im Jahr 2014). Im MIN-Szenario ergibt sich eine Verringerung der HFKW-Emissionen auf 7.829 kt CO_2 Äq. im Jahr 2020 und 3.159 kt CO_2 Äq. im Jahr 2030 (29% der HFKW-Emissionen im Jahr 2014).

Da die Annahmen zur Substitution von HFKW entsprechend der Einführung der Alternativtechnologien in den verschiedenen Anwendungen variieren, verlaufen die Graphen für HFKW-Nachfrage und HFKW-Emissionen in jedem Sektor anders.

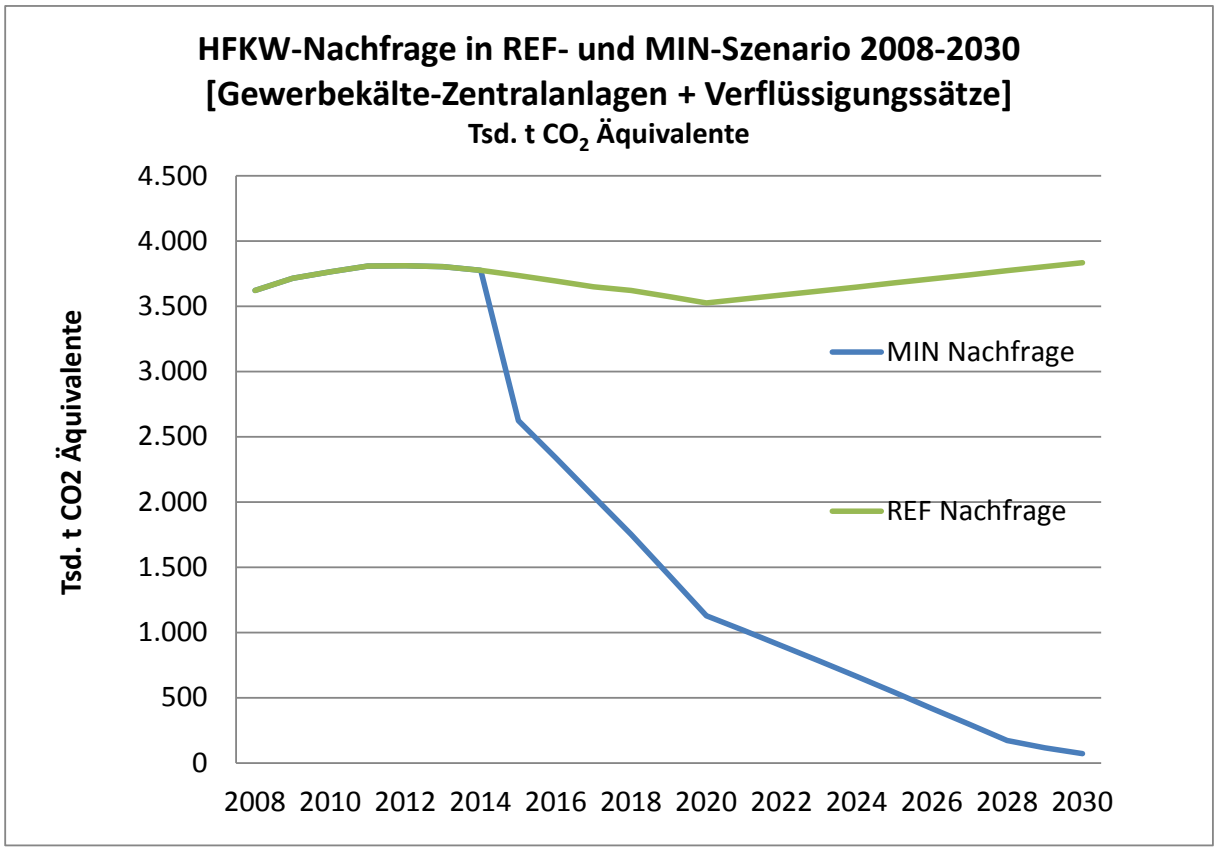


Abbildung 3: HFKW-Nachfrage in Deutschland (kt CO_2 Äq.) in den Subsektoren der Gewerbekälte "Supermarkt-Zentralanlagen", "Discounter-Zentralanlagen" und "Verflüssigungssätze" in REF-Szenario und MIN-Szenario im Zeitraum 2008-2030. Aufgrund der hohen Marktdurchdringungsraten der alternativen Technologien verringert sich die Nachfrage im MIN-Szenario bis 2030 auf 3% des REF-Szenarios.

Beispielhaft werden hier die Verläufe von REF- und MIN-Szenario in der Gewerbekälte (Zentralanlagen in Supermärkten und bei Discountern sowie Verflüssigungssätze – ohne steckerfertige Geräte) gezeigt (Abbildung 3).

Tabelle 12 zeigt den Datensatz für die beispielhaft dargestellten Szenarien für die HFKW-Nachfrage in der Gewerbekälte. Im REF-Szenario bleibt die HFKW-Nachfrage aufgrund des Wachstums des Sektors nahezu gleich. Im MIN-Szenario nimmt die Nachfrage stark ab und liegt 2030 noch bei 61 kt CO_2 Äq. (1,6 % der Nachfrage des Jahres 2014).

Tabelle 12: HFKW-Nachfrage in Deutschland (kt CO_2 Äq.) in der Gewerbekälte (Subsektoren "Supermarkt-Zentralanlagen", "Discounter-Zentralanlagen" und "Verflüssigungssätze") in REF-Szenario und MIN-Szenario in den Jahren 2014, 2020 und 2030.

HFKW-Nachfrage Gewerbekälte	REF-Szenario (kt CO_2 Äq.)	MIN-Szenario (kt CO_2 Äq.)
2014	3.777	3.777
2020	3.520	1.091
2030	3.827	61

Die Kurve des MIN-Szenarios fällt bei der Gewerbekälte bis 2030 viel steiler und tiefer ab als in der Zusammenfassung aller HFKW-Anwendungssektoren. Dies liegt erstens daran, dass 100% Marktdurchdringungsraten alternativer Technologien (insbesondere auf Basis von transkritischem CO_2) früher als in anderen Sektoren erreicht werden; zweitens enthält das Diagramm nicht diejenigen Sektoren, in denen keine alternativen Technologien zur Verfügung stehen, bzw. von uns nicht diskutiert werden, und die den größten Teil der Restnachfrage ab 2030 bilden (u.a. MDI, Wärmepumpen-Wäschetrockner und zahlreiche Kleinanwendungen wie etwa mobile Feuerlöschgeräte mit HFKW-236fa usw.).

Bei der Modellierung des MIN-Szenarios wird angenommen, dass die genannten Alternativtechnologien in Deutschland zur Verfügung stehen und sie gemäß den angenommenen Marktdurchdringungsraten bei Neuanlagen eingesetzt werden. Die Modellierung erlaubt keine Aussagen darüber, was passieren würde, wenn diese Annahmen nicht eingehalten werden (können).

3.2.3 Integration von externer Expertise

Bei der Erarbeitung der Annahmen zu Alternativtechnologien und der Schätzung von Marktdurchdringungsraten wurde auf die Arbeiten von Öko-Recherche mit Erhebungen für die EU-27 sowie die im Modell AnaFgas entwickelten Methoden zurückgegriffen. Diese Annahmen wurden zunächst für Deutschland angepasst und verfeinert. Länderspezifische Kenntnisse und Einschätzungen zu den Entwicklungen von Alternativtechnologien wurden durch telefonische und schriftliche Befragungen von Industrieexperten, Angaben aus der deutschen Fachpresse und durch Besuche von relevanten Tagungen und Messen in Deutschland gewonnen und in die weitere Bearbeitung eingebracht.

Für die Hauptanwendungen wurden weiterhin die getroffenen Annahmen zu Referenztechnologien, Kosten, Alternativen und Marktdurchdringung von Alternativtechnologien externen Experten vorgestellt. Dies erfolgte im Zeitraum von Oktober bis Dezember 2012 in anwendungsspezifischen halbtägigen Expertengesprächen. Zahlreichen Fachleuten aus deutschen Unternehmen, Verbänden und der Wissenschaft wurde dabei das Vorhaben erläutert, und bisherige

Annahmen sowie Datensätze wurden ihnen vorgestellt. Sowohl die ausgewählten Alternativtechnologien als auch einzelne Werte für bestimmte Annahmen wurden besprochen. Auch nach den Expertengesprächen wurden weitere Kommentare innerhalb einer festgesetzten Rückmeldefrist entgegengenommen und integriert.

Tabelle 13 stellt die Termine und Inhalte der Expertengespräche im Überblick dar.

Tabelle 13: Übersicht der durchgeführten Expertengespräche zur Diskussion der Annahmen

Expertengespräch	Datum, Ort
Stationäre Klimatisierung – Raumklimageräte	10.10.2012, Nürnberg
Dämmstoffe	23.10.2012, Berlin
Stationäre Kälte – Gewerbekälte	18.12.2012, Bonn
Stationäre Klimatisierung – Flüssigkeitskühlsätze	18.12.2012, Bonn

Vor allem in den Expertengesprächen zu Dämmstoffen, Gewerbekälte und Flüssigkeitskühlsätzen wurden sehr konstruktive Diskussionen zu den Annahmen der Alternativtechnologien und deren Marktdurchdringungsraten im Jahr 2030 geführt. Etliche Annahmen wurden im Zuge der Nachbereitung der Veranstaltung im Modell angepasst.

3.2.4 Unterschiede zwischen deutschem F-Gase-Modell und Modell AnaFgas für die EU

Einige Unterschiede zwischen dem deutschen Modell, das auf den deutschen Daten der Emissionsberichterstattung beruht, und dem Modell AnaFgas, das die EU-Kommission durch Öko-Recherche und Öko-Institut entwickeln ließ, sind festzustellen.

Die Ausgangsdaten in Deutschland sind durch die Werte aus der Emissionsberichterstattung zum Teil vorgegeben. Dies betrifft etwa Emissionsraten, Füllmengen der Referenzanlagen, Annahmen zur Lebensdauer verschiedener Anlagentypen. Die Emissionsraten sind in vielen Fällen für Deutschland niedriger als für die ganze EU-27[16] (nie höher), u.a. weil für Deutschland ein höheres Maß an Befolgung der Bestimmungen der F-Gase-Verordnung bzw. ChemKlimaschutzV unterstellt wird. Weiterhin wurden auch Annahmen zur Struktur und Entwicklung der HFKW-Nachfrage in einzelnen Anwendungssektoren (siehe Tabelle 13) spezifisch für Deutschland getroffen und stimmen nicht in allen Fällen mit den Annahmen des EU-Modells überein. So ist etwa der auf HFKW basierende PU-Schaumsektor in Deutschland relativ klein und im Wesentlichen durch Spritzschaum bestimmt.

Im Folgenden wird auf einige relevante Unterschiede der beiden Modelle hinsichtlich der Struktur der Sektoren und der getroffenen Annahmen eingegangen.

3.2.4.1 Struktur der Sektoren

Die erfassten Anwendungssektoren im deutschen Modell und im Modell AnaFgas unterscheiden sich geringfügig. In Tabelle 14 werden die Sektoren mit den jeweiligen Bezeichnungen gegenüber gestellt. Die Abweichungen liegen darin begründet, dass die Datensätze für die deutsche Emissionsberichterstattung historisch anders aufgebaut

[16] In dieser Studie werden generell 27 Mitgliedsstaaten angenommen, entsprechend der Anzahl zum Zeitpunkt der Erstellung des F-Gas-Modells. Der 28. Mitgliedsstaat Kroatien ist noch nicht berücksichtigt.

sind, als es die Struktur des Modells AnaFgas vorsah. Auch sind manche HFKW-Anwendungen, die in der EU-27 noch eine Rolle spielen, in Deutschland nicht oder nicht mehr relevant (etwa Fischereifahrzeuge in der Transportkälte oder Klimageräte vom Typ "Rooftop"). Umgekehrt werden für Deutschland die Gewerbekälte-Zentralanlagen in Supermarkt- und Discounter-Anlagen unterschieden und die Flüssigkeitskühlsätze (Verdrängungsverdichter) in zwei Kälteleistungsgruppen unterteilt.

Tabelle 14: Aufbau des deutschen Modells und Aufbau des Modells AnaFgas für die EU-27.

Deutsches Modell	AnaFgas
	1 Domestic Refrigeration
1a Supermarkt Zentralanlagen	4 Commercial Centralized Systems
1b Discounter Zentralanlagen	
2 Gewerbekälte Verflüssigungssätze	3 Condensing Units
3 Gewerbekälte Steckerfertige Geräte	2 Commercial Hermetics
4 Industriekälte-Mittel	5 Industrial small
5 Industriekälte-Groß	6 Industrial large
6 Kühlfahrzeug Transporter	7 Vans Refrigerated
7 Kühlfahrzeug Lkw	8 Trucks Refrigerated
	9 Fishing vessels
8 Kühl-Container	
9 Mobile Raumklimageräte	10 Moveable AC
10 Einfach-Splitgeräte	11 Split RAC
11 Multisplit-VRF	12 VRF RAC
	13 Rooftop AC
12a Flüssigkeitskühlsätze klein	14 Chillers
12b Flüssigkeitskühlsätze groß	
13 Turboverdichter	15 Centrifugals
14 Heiz-Wärmepumpen	16 Heat Pumps
15 Kraftomnibus	28 Buses MAC
16 Nutzfahrzeug Klimaanlagen	29 Trucks MAC
17 See-Güterschiffsklima	17 Cargo Ships
	18 Passenger Ships
18 Schiene Klima	19 Rail MAC
19 Feuerlöschanlagen mit 227ea	20 Fire Protection 227ea
19a Feuerlöschanlagen mit 23	21 Fire Protection 23
20 Aerosole	22 Aerosols
21 XPS-134a	23 XPS-134a
22 XPS-152a	24 XPS-152a

Deutsches Modell	AnaFgas
23 PU-Spritzschaum	25 PU sprayfoam
24 PU-Sonstige (Blockschaum)	26 PU other

3.2.4.2 Annahmen zur Auswahl und Marktdurchdringung von Alternativen

Annahmen zu Alternativtechnologien und deren Marktdurchdringungsraten bis zum Jahr 2030 wurden spezifisch für Deutschland getroffen. Die Einschätzungen externer Experten wurden im Rahmen von Expertengesprächen abgefragt und integriert (siehe 3.2.3).

Unterschiede bei der Auswahl der Alternativen und deren Marktdurchdringungsraten für 2030 treten vor allem in den Hauptanwendungen dieses Vorhabens auf und sind in Tabelle 15 im Überblick dargestellt. Dabei ist erneut darauf hinzuweisen, dass sich die Marktdurchdringungsrate nur auf die noch vorhandenen HFKW-Anwendungen in Deutschland bzw. in der EU-27 bezieht.

Tabelle 15: Anwendungssektoren, in denen die Annahmen für Deutschland von denen für die EU-27 abweichen, und getroffene Annahmen.

Anwendung	Deutschland	EU-27 (Schwarz et al. 2011)
Zentralanlagen	20% KW + CO_2 + CO_2 Kaskade 80% R744 transkritisch	90% KW + Sole + CO_2 Kaskade 10% KW + CO_2 + CO_2 Kaskade
Verflüssigungssätze	40% R744 transkritisch 40% R290 DX 20% R290 indirekt	30% R744 transkritisch 40% R290 DX 30% R290 indirekt
PU Spritzschaum	0% Wasser 100% HFKW-1234zd	50% Wasser 50% unges. HFKW
Sonstiger PU-Schaum	0% Pentan 100% HFKW-1234zd	95% Pentan 5% unges. HFKW
XPS mit 134a	0% Alkohol/CO_2 100% HFKW-1234ze	85% Alkohol/CO_2 15% HFKW-1234ze
XPS mit 152a	0% KW 100% HFKW-1234ze	100% KW 0% HFKW-1234ze

Tabelle 15 zeigt die Marktdurchdringungsraten für die beiden Hauptanwendungen Gewerbekälte und Dämmstoffe. Die Unterschiede zwischen EU und Deutschland sind bei den vier Subsektoren der Dämmstoffe am größten. Das im Zuge dieses Vorhabens durchgeführte Expertengespräch (23.10.2012) führte zu einer signifikant höheren Bewertung der zukünftigen Rolle von ungesättigten HFKW (HFKW-1234ze und HFKW-1234zd) für Deutschland. Brennbaren Substanzen räumen Experten in den wenigen verbliebenen HFKW-Anwendungen geringe Chancen ein. Dies sei darin begründet, dass die Verwendung brennbarer Treibmittel in Deutschland bereits sehr weit verbreitet und damit "ausgereizt" sei. Die Situation stellt sich somit anders als für die EU insgesamt dar, wo HFKW noch nicht in großem Umfang durch brennbare Treibmittel ersetzt worden sind.

Bei Gewerbekälte-Zentralanlagen wird sowohl in der EU insgesamt als auch in Deutschland der CO_2-Technologie allgemein Priorität bei der HFKW-Substitution beigemessen. Allerdings wird in Deutschland nicht die Kombination mit anderen Kältemitteln, wie R134a oder Kohlenwasserstoffen für die Normalkühlung, sondern die transkritische Verwendung von CO_2 als Hauptlösung betrachtet, was u.a. an den günstigen klimatischen Einsatzbedingungen liegt.

Für Gewerbekälte-Zentralanlagen werden die prozentualen Marktanteile der Alternativtechnologien für Neuanlagen 2030 in beiden Modellen außer von der technischen Verfügbarkeit und vorhandenen Sicherheitsstandards auch von Kosten, insbesondere den Emissionsvermeidungskosten, bestimmt. Deren Höhe ist in der EU und Deutschland aber nur selten für dieselbe Technologie identisch. Dies liegt vor allem an Unterschieden in den Anschaffungskosten der Anlagen in verschiedenen Ländern.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass es aufgrund zahlreicher Unterschiede zwischen den Annahmen für die EU insgesamt und für Deutschland allein Abweichungen in den Verläufen der Nachfrage- und Emissionskurven gibt, sowohl im REF-Szenario als auch im MIN-Szenario. Dennoch ist grundsätzlich eine Vergleichbarkeit zwischen der Herangehensweise an die EU-27 und an Deutschland gegeben.

3.3 Bewertung von Maßnahmen

3.3.1 Bewertungskonzept

Eine ökologische und ökonomische Gesamtbewertung wird auf Grundlage der Modellierungsergebnisse (s. 3.2) für Deutschland vorgenommen, wobei zum Teil Ergebnisse für die EU auf Deutschland übertragen werden können (siehe 3.2.4). Um konsistente Vergleichsmöglichkeiten der Maßnahmenpakete sicherzustellen, wird folgendes Bewertungskonzept herangezogen (siehe Tabelle 16).

Der vergleichenden Bewertung unterliegen die vorgestellten Maßnahmen bzw. Maßnahmenpakete (siehe 3.1):

- Mengenbeschränkungen für das Inverkehrbringen von HFKW in der EU (Phase down).
- Eine nationale Besteuerung von HFKW "F-Gas-Steuer" in Deutschland.
- Ein Verbot von HFKW in ausgewählten Anwendungsfeldern.

Die Bewertung stützt sich auf die Ergebnisse der Modellierung und umfasst folgende quantitativen Parameter/Indikatoren:

- Emissionen / Emissionsreduktion 2030
- F-Gas-Nachfrage (Verbrauch) 2030
- Kosten für die Anwender der F-Gase (bzw. der F-Gas-Substitute)
- Kosteneffekte für Endverbraucher
- Zu erwartendes Steueraufkommen sowie
- Arbeitsplatzeffekte 2030.

Alle Indikatoren für 2030 werden in absoluten Zahlen im Vergleich zum REF-Szenario 2030 ausgedrückt. Zusätzlich werden für jedes Maßnahmenpaket (außer beim Steueraufkommen) prozentuale Vergleiche zum MIN-Szenario 2030 angestellt, aus

denen sich ablesen lässt, welcher Anteil der „maximalen“ Emissions- bzw. Verbrauchsminderung bei welchem Anteil der „maximalen“ Kosten erreicht wurde.

Für die Bewertungen werden die GWP_{100}-Werte des 4. Assessment Report des IPPC verwendet.

Tabelle 16: Übersichtstabelle zur vergleichenden Gesamtbewertung der Maßnahmenpakete.

Vergleichende Gesamtbewertung der Maßnahmenpakete			Kostenkurvenmodell					EmIO-Modell	
			F-gas Emissionen D 2030 / Differenz zu REF 2030	F-Gas / HFKW Nachfrage 2030 in D	zusätzliche Kosten für Betreiber in 2030 in D	Steueraufkommen 2030 in D	Preiseffekte für Konsumenten in D 2030 (sektoral & aggregiert)	Arbeitsplatzeffekte D 2030 (sektoral & aggregiert)	Arbeitsplatzeffekte D 2030 (sektoral & aggregiert)
			im Vergleich zu REF 2030						
	Szenario	betroffene F-Gase	[Mio t CO2-Äqu.]	[t] / [Mio. t CO2-Äqu.]	€	€	[%]	[%]	[1]
			[% von MIN 2030]	[% von MIN 2030]	[% von MIN 2030]		[% von MIN 2030]		
generische Szenarien im F-Gas-Modell Deutschland	REF Szenario	HFKW	x	x	-	-	-	-	-
	MIN Szenario (= alle bekannten Maßnahmen mit spezifischen Emissionsvermeidungskosten von bis zu 50 €/t CO2-Äqu.)	HFKW	x	x	x	x	x	x	x
zu bewertende Maßnahmen-pakete	EU HFKW phase-down Szenario	HFKW	x	x	x	-	aus COM-Bericht: D angenähert durch EU Mittelwert		-
	Steuer Szenario	HFKW	x	x	x (inkl. Steuern)	x	x	x	x

3.3.2 Operationalisierung der Bewertung

Die Bewertung von Einzelmaßnahmen sowie ihre Zuordnung zu generischen Szenarien (REF/MIN) oder Maßnahmenszenarien basiert zunächst auf der bereits genannten technisch-ökonomischen Analyse.

Diese Analyse wird separat für jeden Anwendungssektor anhand einer repräsentativen Beispielanlage durchgeführt. Für jeden Anwendungssektor sind eine HFKW-basierte Referenztechnologie definiert sowie eine oder mehrere (halogenfreie) Alternativtechnologien (siehe Modellbeschreibung im Anhang, Kapitel 7.1). Für jede einzelne Alternativtechnologie werden neben weiteren technisch-ökonomischen Kennzahlen die Emissionsvermeidungskosten 2030, die Verbrauchsvermeidungskosten 2030 (beide in der Einheit €/t CO_2-Äq. und im Vergleich zur Referenztechnologie des Anwendungssektors) berechnet und die maximalen Marktdurchdringungsraten für Neuanlagen im Zeitverlauf bis 2030 definiert (siehe Modellbeschreibung im Anhang, Kapitel 7.1). Alternativtechnologien mit Emissionsvermeidungskosten über 50 €/t CO_2-Äq. werden, ähnlich wie beim MIN-Szenario, ausgeschlossen und in der Bildung der Maßnahmenszenarien nicht weiter berücksichtigt. Bei konkurrierenden Alternativtechnologien werden die in den Szenarien modellierten Marktdurchdringungsraten der einzelnen Alternativtechnologien anhand der jeweiligen Verbrauchsvermeidungskosten (€/tCO_2-Äq.) – nicht der Emissionsvermeidungskosten – bestimmt, da erstere dem ökonomischen Kalkül der Anlagenbetreiber entsprechen, die ja in den Szenarien

ökonomischen oder regulatorischen Anreizen unterworfen sind, den Verbrauch (und nicht primär Emissionen) von HFKW zu vermeiden.

Als „Einzelmaßnahme“ in einem Szenario wird in diesem Zusammenhang die Anwendung einer Alternativtechnologie in einem Anwendungssektor bezeichnet und zwar ab dem Zeitpunkt der technischen Verfügbarkeit (Szenarien MIN, EU PD und ST) bzw. ab dem Zeitpunkt, wenn im betreffenden Anwendungssektor zu 100% Alternativtechnologien zur Verfügung stehen. In der detaillierten Analyse der Beispielanlagen der Anwendungssektoren (vgl. Anhang 7.1.2) wird für jede Einzelmaßnahme eine Emissions- und Verbrauchsreduktion in 2030 gegenüber dem REF-Szenario[17] 2030 berechnet.

Die Summe aller (nicht wegen zu hoher Emissionsvermeidungskosten ausgeschlossenen) Einzelmaßnahmen aller Anwendungsbereiche bestimmt somit das MIN-Szenario. Die Reduktionspotenziale 2030 der Einzelmaßnahmen werden nach steigenden Verbrauchsvermeidungskosten geordnet und ergeben so eine Vermeidungskostenkurve für 2030.

An dieser Verbrauchsvermeidungskostenkurve kann nun für das **Steuerszenario (ST)** bei einem gegebenen Steuersatz „abgelesen“ werden, welche Einzelmaßnahmen/ Alternativtechnologien für die Anlagenbetreiber günstiger sind als das Festhalten an der Referenztechnologie mit dann besteuertem HFKW-Verbrauch. Für die so identifizierten Einzelmaßnahmen wird im Steuerszenario eine Umsetzung angenommen. Anstelle der übrigen „zu teuren“ Einzelmaßnahmen/ Alternativtechnologien wird, wie im REF-Szenario, der fortdauernde Einsatz der Referenztechnologie angenommen. Für das Maßnahmenszenario können so aus den identifizierten Einzelmaßnahmen unmittelbar die Bewertungsparameter Emissionen/Emissionsreduktion, HFKW-Verbrauch/Verbrauchsreduktion, Zusatzkosten für die Anwender der Alternativtechnologien sowie das zu erwartende Steueraufkommen abgeleitet werden – alle Parameter für 2030. Kosteneffekte für Endverbraucher pro Anwendungssektor werden ebenfalls aus den Einzelmaßnahmen abgeleitet, nämlich über einen prozentualen Vergleich der gesamten annuisierten Kosten der Anlagenbetreiber im Maßnahmenszenario gegenüber dem Referenzszenario.

Für das **„EU phase down“-Szenario (EU-PD)** werden die Auswahl der Einzelmaßnahmen sowie die Berechnung der genannten Bewertungsparameter analog zum Steuerszenario durchgeführt. Vorgeschaltet wird jedoch die Bestimmung von EU-weit einheitlichen Grenzvermeidungskosten (s. 4.3.5.2.2) für die Verbrauchsreduktion, die anstelle des Steuersatzes in der deutschen Kostenkurve eingesetzt werden. Diese Grenzvermeidungskosten auf EU-Ebene werden mit einem gegebenen Verbrauchsreduktionsziel der EU aus der EU-weiten Grenzkostenkurve zur Verbrauchsreduktion abgeleitet, die für die EU-Studie[18] zur Revision der F-Gas-Richtlinie verwendet wurde.

Für die Betrachtung von Verboten wird die deutsche Kostenkurve zur Verbrauchsreduktion nicht benutzt. Die für die Umsetzung angenommen Einzelmaßnahmen ergeben sich unmittelbar aus der Auswahl der vom Verbot

[17] Das REF-Szenario ist durch 100%ige Anwendung der HFKW-basierten Referenztechnologien bis 2030 in jedem Anwendungssektor charakterisiert.

[18] Schwarz et al. 2011: http://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/docs/2011_study_en.pdf

betroffenen Anwendungsbereiche anhand der dort verfügbaren Alternativtechnologien mit den niedrigsten Verbrauchsvermeidungskosten. Erst ab dem Jahr, in dem für 100% des Anwendungssektors Alternativtechnologien zur Verfügung stehen, ist ein Verbot sinnvoll. Diese Anwendungen sind in Tabelle 30 aufgelistet.

Das Verbotsszenario wurde nicht modelliert, sondern qualitativ beschrieben (Kapitel 4.1). Anwendungen, in denen eine Marktdurchdringung von Alternativtechnologien von 100% erreicht wird, werden hierzu einzeln aufgeführt. Nischenanwendungen, die ggf. von einem Verbot ausgenommen werden müssten, sind nicht näher recherchiert.

Die Bestimmung der **Arbeitsplatzeffekte** erfolgt für beide Szenarien gleichermaßen: Für die im jeweiligen Szenario angenommenen Einzelmaßnahmen/ Alternativtechnologien werden aus der technisch-ökonomischen Analyse der Anwendungssektoren Veränderungen (im Vergleich zur Anwendung der Referenztechnologien im REF-Szenario) der Nachfrageimpulse in vorgelagerte Sektoren quantitativ identifiziert.

Relevante Parameter hierbei sind

- Investitionen in (aufwändigere) Anlagentechnik,
- Kosten der Technologieumstellung (bei Schaumproduktion),
- Kosten der Erstfüllung und Nachfüllung mit Kälte- bzw. Löschmitteln,
- Kosten der Treibmittel und weitere Materialkosten (Schaumproduktion/ Aerosole),
- Energiekosten für den Betrieb der Kälte- bzw. Klimaanlagen sowie
- wegfallende oder zusätzliche Wartungs- und Überwachungs- und Dokumentationskosten.

Um die Nachfrageänderungen auf die deutsche Wirtschaft (und damit Arbeitsplätze in Deutschland) bestimmen zu können, wurde berücksichtigt, zu welchen Anteilen sich die Nachfrage der deutschen Anlagenbetreiber in Deutschland bzw. im Ausland materialisieren würde. Dazu wurden die Annahemen zu Importquoten etc. aus dem deutschen F-Gas-Modell übernommen.

Die so identifizierten Nachfrageimpulse für die deutsche Wirtschaft werden mit Hilfe des EmIO (Employment Input Output) Modells des Öko-Instituts in einer komparativ statischen Betrachtung in Arbeitsplatzeffekte umgerechnet. Innerhalb dieses Vorhabens wurde mit der auf Deutschland angepassten Version des europäischen EmIO-Modells gearbeitet (Beschreibung des europäischen Modells, siehe Anhang, Abschnitt 7.2. Die deutsche Version unterscheidet sich in dem Grunddatensatz, der auf der Input-Output-Tabelle von 2008 des statistischen Bundesamts beruht.).

4 Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland

Kapitel 4 stellt das umfangreichste Kapitel der Studie dar und umfasst zunächst einen Überblick über im Rahmen des Revisionsprozesses der F-Gase-Verordnung diskutierte Maßnahmen, die sich von denen des Vorschlags vom November 2012 unterscheidenbzw. diese modifizieren. Anschließend werden Ergebnisse der Modellierung dieser Maßnahmen für Deutschland vorgestellt und Unsicherheiten der herangezogenen Methoden betrachtet (4.2).

Weiterhin wird eine nationale HFKW-Steuer als potentielle eigenständige Maßnahme sowie als flankierende Maßnahme zum EU Phase down bewertet (4.3).

Einige Ausführungen zu Verboten folgen in Kapitel 4.4 und zu weiteren möglichen Maßnahmen in Kapitel 4.5.

4.1 Überblick der Maßnahmen des EU-Vorschlags und weiterer Maßnahmen für Deutschland

Im November 2012 hat die EU-Kommission einen Vorschlag[19] zur Revision der EU F-Gase-Verordnung vorgelegt. Weitere oder geänderte Vorschläge haben die am Prozess beteiligten Akteure diskutiert, darunter das in die endgültige Fassung aufgenommene Verbot des Inverkehrbringens bestimmter Erzeugnisse, die Kältemittel mit einem GWP ≥ 2.500 enthalten (nachfolgend "Erstfüllverbot" genannt) und die ebenfalls Kältemittel mit einem GWP ≥ 2.500 betreffende befristete Erlaubnis der Nachfüllung mit aufgearbeiteten Kältemitteln als Ausnahme vom Verwendungsverbot. Folgende Maßnahmen sind Grundlage der Analysen vorliegender Studie (in Klammern die Artikelnummerierung des Vorschlags vom November 2012):

- Fortführung bestehender Maßnahmen zur Emissionsrückhaltung (Art. 3-5) und Rückgewinnung (Art. 7)
- Fortführung der Maßnahmen zu Training und Zertifizierung (Art. 8)
- Ausweitung produktbezogener Verbote (Art. 9)
- Ausweitung der Kennzeichnungs- und Produktinformationspflichten (Art. 10)
- Nachfüllverbot für Kältemittel mit GWP ≥ 2500 ab 2020 (Art. 11.3)
- Verbot der Vorbefüllung von Einrichtungen (Art. 12)
- Beschränkungen der EU-weit in Verkehr gebrachten HFKW-Mengen (Phase down) (Art. 13)
- Berichtspflichten für Unternehmen (Art. 17) und Mitgliedstaaten (Art. 18)

Das generelle Nachfüllverbot nach Art. 11(3) für Kältemittel mit einem GWP ≥ 2.500 ab 2020 bezieht sich praktisch auf das Kältemittelgemisch R404A mit dem GWP 3.922. Zu beachten ist, dass eine derartige Maßnahme in der Praxis zwangsläufig auch ein "Umrüstungsgebot" in den Folgejahren impliziert, da ohne Nachfüllung der Weiterbetrieb der Anlagen aus technischen Gründen zeitlich nicht unbegrenzt möglich ist. Ein Verbot der Erstbefüllung nach Art. 9 ("Beschränkung des Inverkehrbringens" von Neuanlagen mit R404A) ist im Vorschlag vom November 2012 nicht ausdrücklich

[19] EU-Kommission: Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über fluorierte Treibhausgase. 7.11.2012 Dokument-Kennung: COM(2012) 643 final; 7.11.2012.
Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on fluorinated greenhouse gases; COM(2012) 643 final; 7.11.2012.

enthalten, ebenso wenig wie eine Ausnahmeregelung für die Nachfüllung mit aufgearbeitetem Kältemittel mit GWP ≥ 2.500. Allerdings, so die denkbare Intention des Vorschlags, dürften Neuanlagen ab 2020 ohnehin kaum mehr mit R404A installiert ("erstbefüllt") werden, wenn ihre Nachfüllung nicht mehr gestattet ist (auch keine Nachfüllung mit aufgearbeiteter Ware). Insofern enthält der Vorschlag vom November ein "faktisches" Erstfüllverbot, wenngleich nur indirekt.

Die Unbestimmtheit des Vorschlags vom 7.11.2012 in Bezug auf Verbote gegenüber R404A löste Diskussionen aus. Bereits bis Mitte 2013 zeichneten sich für die endgültige Fassung als ausdrücklich zu nennende Bestimmungen folgende Maßnahmen gegenüber R404A ab:

1. Nachfüllverbot mit frischem Kältemittel mit GWP ≥ 2.500;
2. Ausnahme für Nachfüllung mit aufgearbeitetem Kältemittel mit GWP ≥ 2.500;
3. Erstbefüllungsverbot mit Kältemittel mit GWP ≥ 2.500 im Sinne eines Verbots, Neuanlagen mit diesem Kältemittel in Verkehr zu bringen.

In den vorliegenden Ergebnissen wird die Entwicklung der HFKW-Nachfrage im F-Gas-Modell für Deutschland beschrieben.

Die für die Nachfrageentwicklung hauptsächlich relevanten Elemente der oben genannten Vorschläge sind nach unserer Auffassung drei Maßnahmenkomplexe:

- Nachfüll- und Erstfüllverbote für HFKW mit GWP ≥2.500 (faktisch: R404A/R507)
- Importverbot für vorgefüllte Anlagen und somit Erstbefüllung im Inland
- EU Mengenbeschränkungen für Bulk-HFKW[20] (Phase down).

Zwischen den drei Maßnahmenkomplexen besteht ein wichtiger Unterschied: Während der Phase down und die Regelungen für R404A die inländische Nachfrage nach HFKW senken, trägt das Importverbot von vorgefüllten Geräten zu einer Erhöhung bei. Letzteres deshalb, weil die Geräte leer importiert werden und für ihre inländische Erstbefüllung zusätzliche HFKW-Bulk-Mengen zur Verfügung gestellt werden müssen.

Diese drei Maßnahmenkomplexe werden nachfolgend ausführlich vorgestellt. Weniger detailliert werden an dieser Stelle Verwendungsverbote für HFKW in einzelnen Anwendungen und Produkten betrachtet, da diese sich nicht annähernd so stark auf die HFKW-Nachfrage in Deutschland auswirken (Kapitel 4.1.4).

4.1.1 Nachfüll- und Erstfüllverbot für R404A

Die "Verwendung zur Wartung oder Instandhaltung", sprich: Nachfüllung von HFKW mit GWP ≥2.500 wäre ab 1. Januar 2020 verboten für Kälteanlagen mit einer Füllmenge, die mindestens 40 t CO_2-Äq. entspricht[21]. Praktisch liefe dies auf ein Nachfüllverbot in Anlagen über 10 kg Füllmenge für das Kältemittel R404A hinaus, das ein GWP von 3.922 aufweist. Das mit R404A gleichwertig verwendete R507 fällt

[20] Bulk-Ware oder Gebinde-Ware bezeichnet hier Gase, die in Transportbehältern importiert werden und der Befüllung dienen – im Unterschied zu Gasen, die in Behältnissen importiert werden, mit denen sie direkt für den Verwendungszweck eingesetzt werden, z.B. in Montageschaum-Dosen.

[21] Das angegebene Füllmengenminimum von 5 t CO_2 war offenbar ein Irrtum und wurde in der Diskussion bis Mitte 2013 auf 40 t CO_2 heraufgesetzt. Das entspricht etwa 10 kg R404A oder R507. Für R23 mit dem hohen GWP 14.800 wurde bis Mitte 2013 eine Ausnahme vom Verbot vorgeschlagen, da R23 für Produktkühlung < 50°C unerlässlich sei. Die Endfassung der Verordnung trägt dem Rechnung.

aufgrund des noch höheren GWP 3.985 ebenfalls unter das Verbot. Indirekt ist mit dem Nachfüllverbot ein Erstfüllverbot verknüpft, da es für Betreiber keinen Sinn macht, neue Anlagen mit Kältemitteln zu installieren, die nicht mehr für den Service verwendet werden dürfen. Das Nachfüllverbot hat auch Konsequenzen für bestehende, vor 2020 errichtete Anlagen, da sie ohne Kältemittel-Service von einem bestimmten Zeitpunkt an funktionsunfähig werden. Unsere Annahme ist, dass spätestens ab 2025 Entnahme und Ersatz von R404A in den bis dahin noch mit R404A betriebenen, bestehenden Anlagen erfolgen muss. Soweit diese Anlagen weiterhin mit HFKW betrieben werden sollen, kommen aus heutiger Sicht (2013) für die Umrüstung vornehmlich die thermodynamisch vergleichbaren Blends R407A oder R407F (GWP <2.500) in Frage.

Wir nehmen in der Studie an, dass das faktische Erstfüllverbot mit R404A für stationäre Anlagen >10 kg auf die Verwendung von R407A oder R407F auch für Neuanlagen hinausläuft[22].

Wie mehrfach betont, bedeutet das Nachfüllverbot nach Art. 11(3) des Vorschlags vom November 2012 *faktisch* ein Erstfüllverbot für Neuanlagen und ein Umrüstgebot für bestehende Anlagen. Diesem Umstand trug die nachfolgende Diskussion bis Mitte 2013 durch die ausdrückliche Hereinnahme eines Verbots der Erstbefüllung im Sinne von Inverkehrbringen neuer stationären Kälteanlagen mit Kältemittel mit GWP ≥ 2.500 Rechnung. Wir bezeichnen daher nachfolgend das Erstfüllverbot nicht mehr "indirekt" oder "faktisch", sondern sprechen nur noch von "Erstfüllverbot" (s. 4.2.2.3 bis 4.2.2.6).

4.1.2 Importverbot für vorgefüllte Anlagen (Art. 12 Vorbefüllung von Einrichtungen mit teilfluorierten Kohlenwasserstoffen)

Bliebe die Regelung des Art. 12 erhalten und träte diese zum 01. Januar 2015 in Kraft, dürften ab 2018 stationäre und mobile Anlagen für Kälte und Klima sowie Wärmepumpen nicht mehr vorbefüllt in den Verkehr gebracht werden.

Dies käme für Deutschland praktisch einem Verbot von Importen vorbefüllter Anlagen und Geräte aus dem Ausland (nicht nur Nicht-EU-Länder, sondern auch aus EU-26) gleich. Alle Anlagen zur inländischen Verwendung, ob im Inland produziert oder eingeführt, wären im Inland zu befüllen. Die Regelung wird für nicht hermetisch geschlossene Geräte diskutiert. Hermetische Systeme wie mobile Raumklimageräte, gewerbliche und Haushalts-Kühl- und Gefriergeräte sowie Wärmepumpen von kompakter Bauart (alles fabrikgefertigte System) wären vom Importverbot vorbefüllter Erzeugnisse ausgenommen.

4.1.3 Phase down (Art. 13 Verringerung des Inverkehrbringens von teilfluorierten Kohlenwasserstoffen)

Annex V enthält einen Stufenplan für die Reduktion der maximalen HFKW-Menge, die dem EU-Markt bis 2030 zur Verfügung stehen soll, der für 2030 noch 21%

[22] In Schwarz et al 2011 werden als Alternativen zu R404A in Neuanlagen ausschließlich Kältemittel mit niedrigem GWP diskutiert – mit der Konsequenz, dass aufgrund ungenügender Marktdurchdringung ein allgemeines Verbot von R404A für Neuanlagen (insbesondere in der Industrie) nicht vorgeschlagen wird. Die Kältemittel R407A und R407F können dagegen technisch sofort R404A allgemeinersetzen, wenngleich das GWP durch diese Maßnahme kaum halbiert wird.

gegenüber 100% in 2015 zulässt. Eventuelle Ausnahmen einzelner HFKW-Anwendungen vom Phase down sind nicht berücksichtigt.

Die angegebenen Reduktionsschritte sind auf die Ausgangsmenge (in Tonnen CO_2-Äquivalenten) bezogen. Als Ausgangsmenge (Baseline) gilt der „Jahresdurchschnitt der im Zeitraum 2008-2011 in der EU hergestellten und in die EU eingeführten Gesamtmenge“ an HFKW, wobei damit nur HFKW-Bulkware aller Arten von teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (in Tonnen CO_2-Äquivalenten) gemeint ist.

Grundsätzlich zu unterscheiden ist zwischen:

- in Verkehr gebrachten HFKW-Mengen („placing on the market“; POM), die sich zusammensetzen aus den Importen von HFKW-Bulkware und den im Inland verkauften Mengen aus inländischer HFKW-Produktion;
- am Markt verfügbaren HFKW-Mengen („supply“), die zusätzlich zu den in Verkehr gebrachten Mengen („placing on the market“; POM) auch die HFKW-Mengen aus Wiederaufbereitung („reclamation“) umfassen.

Die Formulierung der Definition der Ausgangsmenge im Vorschlag der EU-Kommission ist nicht eindeutig: Es geht nicht hervor, welche HFKW-Teilströme im Detail den Reduktionsschritten unterliegen.

Ein absoluter Wert der Ausgangsmenge ist im Vorschlag nicht vermerkt. Im Impact Assessment[23], das von der EU-Kommission als Begleitdokument im November 2012 veröffentlicht wurde, wird das Reduktionsschema beispielhaft mit einer Ausgangsmenge von 186 MT CO_2 Äq. vorgestellt.

Die Festlegung der Ausgangsmenge hat jedoch auf die Berechnung der Höchstmengen im Reduktionsschema entscheidenden Einfluss. In Tabelle 17 sind die quantitativen Veränderungen der Höchstmengen bei verschiedenen Ausgangsmengen (beispielhaft 186 MT CO_2 Äq. und 170 MT CO_2 Äq.) aufgeführt.

Tabelle 17: Reduktionsschema für schrittweise Mengenbeschränkungen für HFKW-Bulkware gemäß Vorschlag der EU-Kommission vom 07.11.2012. Die Berechnung der Höchstmengen wurde beispielhaft mit Ausgangswerten 186 und 170 MT CO_2 Äq. durchgeführt.

EU-Vorschlag: Mengenbeschränkungen für HFKW (Phase down)			Beispiele (MT CO_2 Äq.)	
Ausgangswert	„Jahresdurchschnitt der im Zeitraum 2008-2011 in der EU hergestellten und in die EU eingeführten Gesamtmenge“		186	170
Reduktionsschema	Begrenzung der Höchstmengen	Reduktion um	Höchstmengen	Höchstmengen
2015	100%		186	170

[23] European Commission: Impact Assessment – Review of the Regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases accompanying the document Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council on fluorinated greenhouse gases. Commission Staff Working Paper, SWD(2012) 364 final. http://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/legislation/docs/swd_2012_364_en.pdf

EU-Vorschlag: Mengenbeschränkungen für HFKW (Phase down)			Beispiele (MT CO_2 Äq.)	
2016-2017	93%	-7%	173	158
2018-2020	63%	-37%	123	107
2021-2023	45%	-55%	83	77
2024-2026	31%	-69%	58	53
2027-2029	24%	-76%	44	41
2030	21%	-79%	38	36

Es wird ersichtlich, dass im Reduktionsschema die Höchstmengen in verschiedenen Jahren je nach Beispiel für die Ausgangsmenge voneinander abweichen. Dies ist für die Einhaltung der Reduktionsschritte, vor allem der letzten Reduktionsstufe, von großer Bedeutung. Für die Umsetzung bzw. Einhaltung der Reduktion ist nämlich erforderlich, dass die entsprechenden Alternativtechnologien in Deutschland zur Verfügung stehen und sich gemäß den angenommenen Marktdurchdringungsraten verbreiten.

Abbildung 4 zeigt den Stufenplan des europäischen Phase down („EU HFKW POM 1“). Als Ausgangswert (100%) wird ein Wert von 170 MT CO_2 Äq. angenommen, der in etwa der durchschnittlichen jährlichen Verkaufsmenge in der EU im Zeitraum 2008-2011 entspricht. Weiterhin werden in Abbildung 4 die für Deutschland in diesem Vorhaben entwickelten Szenarien der HFKW-Nachfrage gezeigt, nämlich REF-Szenario und MIN-Szenario. Es wird ersichtlich, dass die in Deutschland entsprechend dieser Szenarien möglichen Reduzierungen der HFKW-Nachfrage nicht zur Umsetzung des Phase down-Stufenplans ausreichen werden, sondern dass deutliche Reduzierungen der HFKW-Nachfrage in allen europäischen Mitgliedstaaten erforderlich sein werden, um dies zu erreichen.

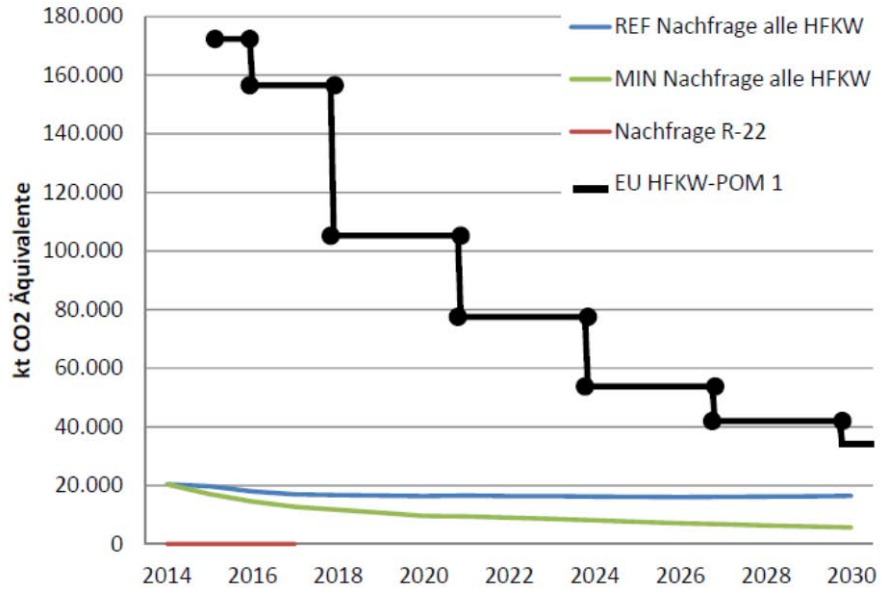


Abbildung 4: Zusammenschau des europäischen Phase down gemäß EU-Vorschlag (mit angenommener 100%-Baseline bei 170 MT CO_2 Äq.) und den Szenarien für die HFKW-Nachfrage in Deutschland (REF-Nachfrage, MIN-Nachfrage). Die Nachfrage nach R22 ist minimal und endet spätestens 2018.

4.1.4 Verbote des Inverkehrbringens von Produkten, die F-Gase enthalten

Weitere im Vorschlag enthaltene Maßnahmen sind von geringerem Einfluss auf die Nachfrage und umfassen Inverkehrbringensverbote bestimmter Systeme, die HFKW enthalten (Annex III), etwa das Verbot für Feuerlöschanlagen und -systeme, die HFKW-23 als Feuerlöschmittel enthalten, ab 2014 und das Verbot des Inverkehrbringens von Haushaltskühl- und -gefriergeräten mit HFKW ab 2015.

4.2 Modellierung der Maßnahmen des EU-Vorschlags

4.2.1 Ausgangssituation im deutschen F-Gas Modell

Im Rahmen dieses Vorhabens werden, wie im Kapitel 3.2 beschrieben, im deutschen F-Gas-Modell zwei Szenarien betrachtet: Das Referenzszenario (REF-Szenario), das die Ausgangssituation beschreibt, und das Minimalszenario (MIN-Szenario), das die Umstellung auf Alternativen zu HFKW abbildet. Der im Folgenden im Fokus stehende Bezug der Szenarien ist die HFKW-Nachfrage in Deutschland; Emissionen werden an dieser Stelle nicht betrachtet.

Die bis 2030 projizierte Entwicklung der inländischen HFKW-Nachfrage im Referenzszenario (REF-Szenario) (Kapitel 3.2.1) für alle analysierten 28 HFKW-Sektoren ist in Abbildung 5 dargestellt.

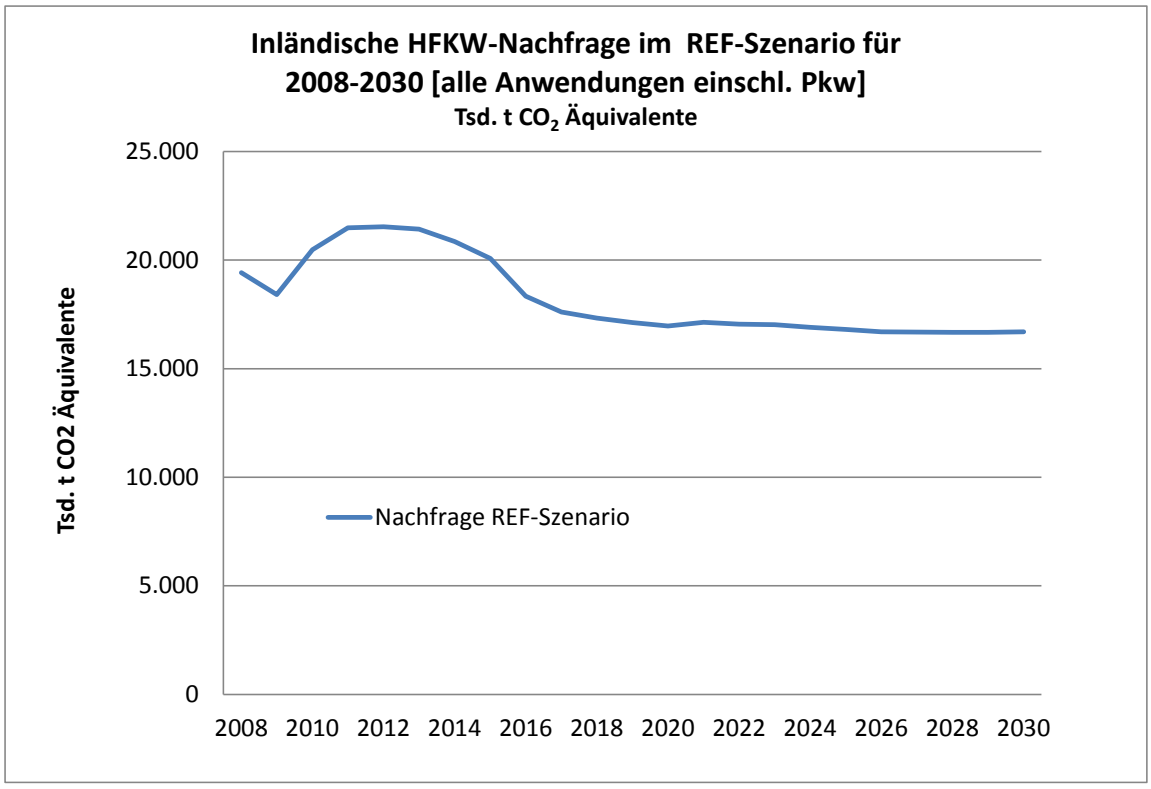


Abbildung 5: Das REF-Szenario zeigt eine sinkende Entwicklung der HFKW-Nachfrage bis 2030, die zum großen Teil aus der angenommenen erfolgreichen Umsetzung der MAC-Richtlinie resultiert. Gegenüber dem Durchschnittswert 2008-2011 (19.950 kt CO_2 Äq.) wird für 2030 eine Nachfrage in Höhe von 16.700 kt CO_2 Äq. errechnet, das entspricht einer Senkung um 3.250 kt CO_2 Äq. bzw. 16,2%.

Auf Basis der Modellierungsergebnisse werden innerhalb dieses Vorhabens folgende Fragen bearbeitet:

- Welche Nachfragereduktionen können in Deutschland in welchem zeitlichen Rahmen erreicht werden?
- Wie könnten Mengen reduziert werden?
- Welche Vermeidungskosten entstehen in Deutschland?
- Welche Restmengen an HFKW werden 2030 in Deutschland nötig sein und in welchen Anwendungen?

Die Reduktion der HFKW-Nachfrage im MIN-Szenario für Deutschland ist in Tabelle 18 aufgeführt.

Tabelle 18: HFKW-Nachfrage in Deutschland im MIN-Szenario bis 2030. Prozentualer Anteil der HFKW-Nachfrage gemäß der Annahmen zum Einsatz von Alternativen in Bezug zur beispielhaft gewählten Ausgangsmenge von 20,6 MT CO_2 Äq. in 2010. Entsprechende prozentuale Reduktion der Nachfragemengen.

Ausgangswert	Nachfragemengen im Modell (MT CO_2 Äq.)	Nachfragemengen (relativ zu 2010)	Reduktion (relativ zu 2010)
2015	17,1	83%	-17%
2016	14,5	70%	-30%

Ausgangswert	Nachfragemengen im Modell (MT CO_2 Äq.)	Nachfragemengen (relativ zu 2010)	Reduktion (relativ zu 2010)
2018	11,7	57%	-43%
2021	9,5	46%	-54%
2024	8,1	39%	-61%
2027	6,7	33%	-67%
2030	5,7	28%	-72%

Entsprechend den derzeit im Modell getroffenen Annahmen (siehe Kapitel 3.2) wird ein Rückgang der HFKW-Nachfrage in allen Anwendungen in Deutschland um 72% bis 2030 im Modell errechnet.

Abbildung 6 setzt REF- und MIN-Szenario für die HFKW-Nachfrage in Deutschland mit dem Reduktionsschema des Vorschlags der EU-Kommission in Beziehung. Es wird von dem als Beispiel genannten Ausgangswert von 170 MT CO_2 Äq. (entspricht 100%) ausgegangen.

Der Anteil der deutschen Nachfrage liegt im REF-Szenario im Jahr 2015 beim angenommenen Ausgangswert für die EU bei etwa 12% (20,6 MT CO_2 Äq. der 170 MT CO_2 Äq.). Es wird ersichtlich, dass die langfristig stabile HFKW-Nachfrage im REF-Szenario 2030 etwa die Hälfte der dann noch EU-weit verfügbaren HFKW-Mengen aufbrauchen würde. Durch die dem MIN-Szenario zugrunde liegenden Maßnahmen lässt sich die HFKW-Nachfrage in Deutschland deutlich reduzieren und zwar auf ca. 5,7 MT CO_2 Äq., was etwa 16% der Menge der EU-27 entsprechen würde (5,7 MT CO_2 Äq. der 35,7 MT CO_2 Äq.).

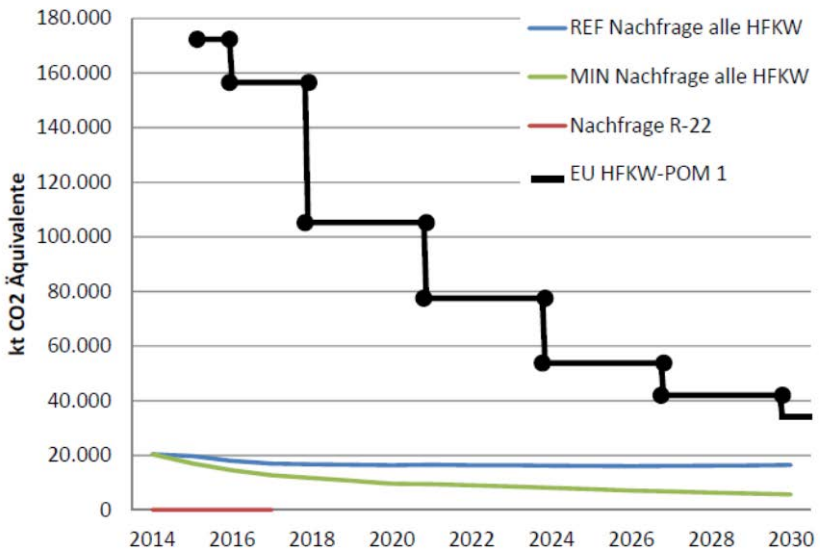


Abbildung 6: Zusammenschau des vorgeschlagenen Reduktionsschemas gemäß EU-Vorschlag vom 07.11.2012 (Baseline: 170.000 kt CO_2 Äq.) und der Szenarien für Deutschland.

4.2.2 Ergebnisse der Modellierung

4.2.2.1 Herangehensweise

Im Folgenden werden wichtige Maßnahmen des EU-Vorschlags in ihren Auswirkungen auf die Nachfrageentwicklung in Deutschland gemäß dem deutschen F-Gas-Modell betrachtet. Dabei werden die genannten relevanten Maßnahmenkomplexe auf das bisherige REF-Szenario bezogen.

Folgende Kombinationen werden als neue Szenarien dargestellt:

- REF-Szenario mit Verbot des Inverkehrbringens vorbefüllter Einrichtungen (REF + prechBan) (Abschnitt 4.2.2.2)
- REF-Szenario mit Verbot des Inverkehrbringens vorbefüllter Einrichtungen sowie Verbot der Nachfüllung und Erstbefüllung mit R404A in Gewerbekälte- und Industriekälteanlagen (REF + prechBan + R404ABan) (Abschnitt 4.2.2.3). Nachfüllung mit wiederaufgearbeitetem Kältemittel ist in diesem Szenario erlaubt.
- REF-Szenario mit Verbot des Inverkehrbringens vorbefüllter Einrichtungen und Verbot der Nach- und Erstfüllung mit R404A in Gewerbekälte- und Industriekälteanlagen sowie zusätzlich Verbot der Nachfüllung mit rückgewonnenem R404A (REF + prechBan + R404ABan + recR404ABan) (Abschnitt 4.2.2.3)
- MIN-Szenario mit Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen („MIN + prechBan“) (Abschnitt 4.2.2.4)
- MIN-Szenario mit Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen und mit Verbot der Nach- und Erstfüllung mit R404A und Verbot der Nachfüllung mit rückgewonnenem R404A (MIN + prechBan + R404ABan + recR404ABan) (Abschnitt 4.2.2.5)

4.2.2.2 Verbot des Inverkehrbringens vorbefüllter Einrichtungen

Das REF-Szenario mit einem Inverkehrbringungsverbot für vorbefüllte Einrichtungen

Um das Verbot der Vorbefüllung von Einrichtungen im Modell abbilden zu können, wurden mehrere strukturelle Veränderungen der vorliegenden Datensätze durchgeführt. Es wurden anwendungsspezifische Annahmen für folgende Ströme von HFKW-Mengen getroffen und in das Modell integriert:

- Importe nach D, die leer ankommen (Erstbefüllung am Aufstellort erforderlich)
- Produktion in D für den Nicht-EU-Exportmarkt (Erstbefüllung enthalten)
- Produktion in D für den EU-Exportmarkt (geleert)
- Produktion in D für inländischen Markt (Erstbefüllung am Aufstellort erforderlich)

Das Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen betrifft 9 der ca. 30 von uns betrachteten HFKW-Hauptsektoren, und zwar im Wesentlichen solche Produkte, die entweder leicht transportabel oder mobil sind. In der nachfolgenden Tabelle 19 sind in Spalte 1 die betroffenen Sektoren aufgeführt.

In den Spalten 2-5 der Tabelle werden für die einzelnen Sektoren der gegenwärtige Anteil der inländischen Erstbefüllung (HFKW-Befüllung HEUTE) und der künftige Anteil der inländischen Erstbefüllung im Falle eines Inverkehrbringungsverbots

vorbefüllter Einrichtungen in Deutschland und den anderen EU-Staaten dargestellt (HFKW-Befüllung Inland bei Vorfüllverbot ZUKUNFT), und zwar jeweils in Bezug auf entweder die Inlandsproduktion oder die inländischen Neuinstallationen (bzw. Neuzulassungen). Wenn in der Spalte HFKW-Befüllung Inland (Zukunft) ein Wert kleiner als 100% angegeben ist, so würde die Differenz zu 100% mit alternativem Kältemittel befüllt.

Tabelle 19: Anteile inländischer Befüllung heute und bei Vorfüllverbot in den relevanten Sektoren

Sektor	Bezugsgröße (real oder rechnerisch)	HFKW-Befüllung im Inland (heute)	HFKW-Befüllung im Inland (Zukunft)	Ziele der inl. Befüllung bei Verbot der Vorbefüllung
Lkw-Klima	Inlandsproduktion	100%	90%	Lieferungen nach D + Non-EU + Importe
Kraftomnibus-Klima	Inlandsproduktion	100%	75%	Lieferungen nach D + Non-EU + Importe
Kühlfahrzeuge R404A	Neuzulassungen	50%	100%	Lieferungen nach D + Importe
Single-Split-Klima	Neuinstallationen	3,33% (1)	100%	Importe
Multisplit(VRF)-Klima	Neuinstallationen	34,2% (2)	100%	Importe
Flüssigkühlsatz klein	Neuinstallationen	30%	100%	Importe
Flüssigkühlsatz groß	Neuinstallationen	30%	100%	Importe
Turboverdichter-Sätze	Neuinstallationen	0%	100%	Importe
Split-Wärmepumpen (3)	Neuinstallationen	0%	100%	Importe
Pkw Klima (MAC-RL)	*Inlandsproduktion*	*100%*	*30%*	*Lieferungen nach Non-EU*

Anmerkungen: (1) 50 g Auffüllung bei Montage (von 1,5kg), (2) 3,25 kg Auffüllung bei Montage (von 9,5kg), (3) Split-Wärmepumpen (nichthermetisch!) stellen ca. 25% an allen Neuinstallationen dar. Sie werden zurzeit außerhalb EU-27 befüllt.

Rückgang der HFKW-Nachfrage bei Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen

Für mobile Klimaanlagen (Nutzfahrzeuge, Busse) zeigt sich eine Verminderung der inländischen Nachfrage nach HFKW-Bulkware. Bezogen auf die inländische Fahrzeugproduktion nimmt die HFKW-Menge für die Erstbefüllung von

Klimaanlagen prozentual ab – auf 90% bzw. 75%. (Diese Proportionen beruhen auf einer statistischen Auswertung von VDA-Daten über die Außenhandelsstruktur für die vergangenen Jahre).

Die HFKW-Nachfrageminderung hängt damit zusammen, dass bisher die gesamte Produktion sowohl für das Inland als auch den Export in Deutschland befüllt wird und nur Importfahrzeuge vorgefüllt ins Land kommen. Bei einem Vorfüllverbot für die 27 EU-Mitgliedsstaaten müssen zwar die Importe, ob aus "EU-26" oder Non-EU, in Deutschland befüllt werden (zusätzliche HFKW-Nachfrage); umgekehrt entfällt die Vorfüllung für Fahrzeuge, die in die restliche EU geliefert werden. Die Exporte in die EU übersteigen die Importe aus der EU. Inländische Erstbefüllung (außer von importieren Fahrzeugen) bleibt für Exporte in Non-EU-Länder genauso bestehen wie die Befüllung von Fahrzeugen, die für Neuzulassung in Deutschland in deutschen Fabriken produziert wurden.

Aufgrund der Vorgaben der MAC-Richtlinie unterscheiden sich Szenarien für die Klimaanlagen von Pkw und kleinen Nutzfahrzeugen von denen für Klimaanlagen anderer Fahrzeuge. Ab 2017 ist es in der EU verboten, Klimaanlagen neuer Pkw und kleiner Nutzfahrzeuge mit R134a zu befüllen. Darum entfällt die inländische R134a Befüllung für Fahrzeugklimaanlagen mit dem Ziel Deutschland oder EU-26 und Importfahrzeuge dürfen weder R134a enthalten noch damit in Deutschland befüllt werden. Weiterhin würden jedoch die Exportfahrzeuge in Non-EU-Länder mit R134a befüllt werden, weil (bzw. sofern) dort R134a nicht verboten ist.

Zu beachten ist: Diese Regelung hat nichts mit dem "Inverkehrbringungsverbots vorbefüllter Einrichtungen" zu tun, sondern ergibt sich gänzlich aus der MAC-Richtlinie. Die Pkw-Klimaanlagen sind daher in der Tabelle in der letzten Zeile dargestellt (kursiv), und zwar nur aus Vergleichsgründen. Der 30%-Wert gilt bereits im REF-Szenario.

Anstieg der HFKW-Nachfrage bei Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen

Anders als bei mobilen Fahrzeugklimaanlagen führt in den restlichen sieben Sektoren das Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen zu einer Erhöhung der inländischen Bulk-Nachfrage.

Die Anlagen und Geräte für die **Sektoren der stationären Klimatisierung** werden gegenwärtig (und in der Projektion auch künftig) fast ausschließlich aus dem Ausland geliefert, und zwar Raumklimageräte (einfache und Multisplit-Geräte) überwiegend aus Asien, Flüssigkeitskühlsätze (kleine, große und Turboverdichter-Systeme) aus der EU-26.

Raumklima-Splitgeräte erhalten eine inländische Erstbefüllung nur in den Fällen und in dem Maße, wie die im Gerät bereits enthaltene Kältemittelmenge vor Ort für die erforderliche Leitungslänge nicht ausreicht, so dass eine Auffüllung bei Installation stattfindet. Sie wird im statistischen Durchschnitt aller Fälle auf 5 g pro 1,5 kg-Geräte geschätzt (ca. 3%).

Multisplitgeräte sind auf eine Vor-Ort-Verlegung mehrerer Rohr- bzw. Schlauchleitungen angewiesen, in die zusätzlich zum vorgefüllten Klimagerät Kältemittel eingefüllt werden muss. Diese Auffüllung wird im deutschen F-gas-Modell

auf durchschnittlich 3,25 kg geschätzt, bezogen auf 9,5 kg Füllmenge der fertig installierten Einheit (34%).

Flüssigkeitskühlsätze stammen fast alle aus dem europäischen Ausland. Turboverdichter-Anlagen werden grundsätzlich vorgefüllt importiert. Im Falle der Flüssigkeitskühlsätze mit Verdrängungsverdichtern machen vorgefüllte Importgeräte (entsprechend dem neuen UBA-Modell) etwa 70% des Marktes für Neuinstallationen aus, während etwa 30% erst in Deutschland ihre HFKW-Füllung erhalten.

Im Falle des Inverkehrbringungsverbots vorbefüllter Einrichtungen müssen alle stationären Klimageräte und -anlagen zu 100% vor Ort (bzw. in Deutschland) erstbefüllt werden (100%).

Heiz-Wärmepumpen sind zum Teil fabrikgefertigte hermetische Systeme, die vom Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen ausgenommen sind. Seit einigen Jahren kommen allerdings vermehrt Luft-Wasser-Wärmepumpen in Split-Ausführung auf den deutschen Markt, welche die Wärmequelle Luft über eine Außeneinheit nutzen, die durch Kältemittelleitungen mit der Inneneinheit verbunden ist. Diese nicht-hermetischen Wärmepumpen machen gegenwärtig 25% der deutschen Neuinstallationen aus und werden bisher ausschließlich vorgefüllt aus dem Ausland bezogen, überwiegend aus Asien. Im deutschen F-gas-Modell wird angenommen, dass sie in Zukunft die Hälfte der stark wachsenden Luft-Wasser-Wärmpumpen ausmachen. Im Falle des Inverkehrbringungsverbots vorbefüllter Einrichtungen müssen diese Geräte leer geliefert und in Deutschland befüllt werden. Da dies 100% der Split-Wärmepumpen betrifft, beträgt die entsprechende neue Erstbefüllungsrate 100%.

Die in Deutschland jährlich neu zugelassenen Kühlfahrzeuge (Lkw und Anhänger) werden hauptsächlich mit Kälteaggregaten von zwei großen internationalen Unternehmen ausgerüstet, die diese Anlagen (Füllmengen 2 bis 8 kg) mehrheitlich im europäischen Ausland vorbefüllen. Es handelt sich ausschließlich um das Kältemittel R404A. Das Kältemittel R410A, das ebenfalls in Kühlfahrzeug-Kälteaggregaten der erforderlichen Größe vorkommt, wird – von einem deutschen Hersteller – in Deutschland eingefüllt. Wir schätzen im Kältemittelmodell für das UBA den Anteil der mit R404A vorgefüllten Kühlaggregate auf 50% der neu zugelassenen Kühlfahrzeuge (Lkw und Anhänger). Im Falle des "Importverbots Vorfüllung" sind diese Geräte nicht mehr im Ausland, sondern in Deutschland zu befüllen.

Per Saldo wird ab 2018, dem möglichen ersten Jahr des Inverkehrbringungsverbots vorbefüllter Einrichtungen, die HFKW-Nachfrage in Deutschland ansteigen. Der projizierte Verlauf wird in der nachfolgenden Abbildung 7 wiedergegeben – im Vergleich zum Nachfrageverlauf im REF-Szenario. Der neue Verlauf begründet das neue Szenario „REF+prechBan“.

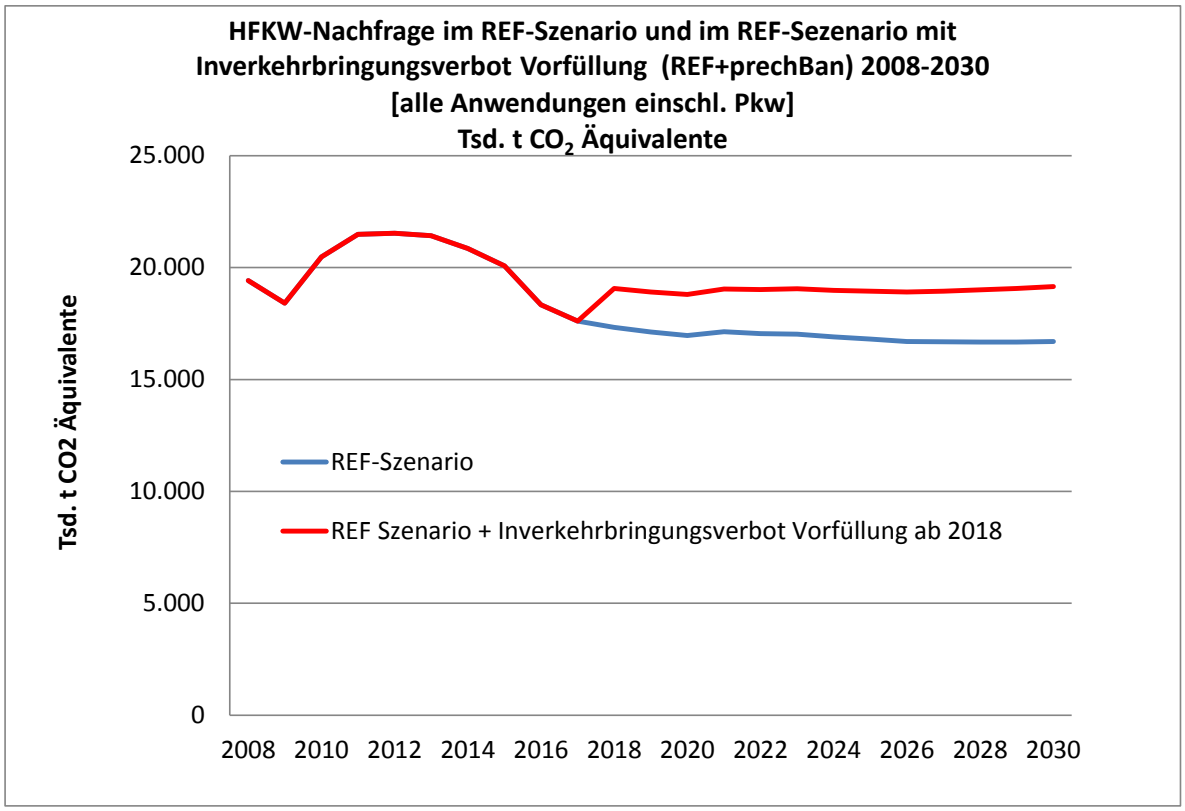


Abbildung 7: HFKW-Nachfrage in Deutschland im REF-Szenario und im REF-Szenario mit Inverkehrbringungsverbot für Vorfüllung nicht-hermetischer Importgeräte (REF+prechBan). Ab 2018, dem angenommenen ersten Verbotsjahr, trennt sich die Nachfragekurve des "REF-Szenarios + Inverkehrbringungsverbot für Vorfüllung" von derjenigen des REF-Szenarios und verläuft ab 2020 konstant höher um 1.800 bis 2.450 ktCO₂Äq. Im Jahr 2030 beträgt die Differenz 2.453 ktCO₂Äq. bzw. 15%. Ursache ist vor allem die inländische Erstbefüllung importierter stationärer Klimageräte- und –anlagen.

Die Zeitreihe der HFKW-Gesamtnachfrage für beide Szenarien ist nachfolgend in Zahlen wiedergegeben. Die neun betroffenen Anwendungen sind zu je einem Wert pro Jahr zusammengefasst und in der Zeile "Importverbot Vorfüllung ab 2018" zu den Werten des Referenzszenarios hinzugerechnet. Die dritte Zeile enthält die Differenz beider Szenarien, die ab 2018 entsteht. Bis 2017 gibt es zwischen beiden Szenarien keinen Unterschied.

Bereits im Jahr 2018 beträgt die Differenz beider Szenarien 1.732 kt CO_2 Äq., nimmt dann stetig zu und beträgt 2.453 kt CO_2 Äq. im Jahr 2030 bzw. 15% (Tabelle 20).

Tabelle 20: Projektion der HFKW-Gesamtnachfrage aller Sektoren im REF-Szenario und im REF-Szenario mit Inverkehrbringungsverbot für Vorfüllung- von 2017 bis 2030. Angaben in ktCO₂Äq.

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
REF-Szenario	17.605	17.332	17.121	16.960	17.138	17.046	17.025	16.896	16.800	16.694	16.678	16.670	16.672	16.699
1. REF + prechBan ab 2018	17.605	19.064	18.909	18.803	19.043	19.011	19.051	18.983	18.947	18.903	18.948	19.000	19.064	19.152
Differenz		1.732	1.787	1.843	1.905	1.966	2.026	2.087	2.148	2.209	2.270	2.331	2.392	2.453

4.2.2.3 Verbote für Nachfüllung und Erstfüllung mit R404A

Zur Diskussion stehen ein Verbot der Nachfüllung (Art. 11(3)) und der Erstfüllung (Art. 9; Anhang III), letzteres im Sinne eines Verbots, ortsfeste Kälteanlagen mit einer Füllmenge > 10 kg mit Kältemitteln mit GWP ≥ 2.500 in Verkehr zu bringen – ab 1. Januar 2020[24].

Obwohl weder Erlaubnis noch Verbot, *aufgearbeitete* Kältemittel mit GWP ≥2.500 zur Nachfüllung weiterzuverwenden, im ersten Vorschlag der EU-Kommission vom 7.11.2012 thematisiert werden, wurde eine Ausnahme vom Nachfüllverbot für aufgearbeitete Kältemittel in der Folge ernsthaft diskutiert (und auch in die Endfassung der Verordnung 2014 aufgenommen). Wir analysieren daher in den nachfolgenden Verbotsszenarien auch die möglichen Auswirkungen einer Sonderregelung für aufgearbeitete Kältemittel auf die Nachfrage, was dadurch Bedeutung gewinnt, dass aufgearbeitetes Kältemittel begrifflich un rechtlich nicht als Nachfrage zählt.

Die betroffenen stationären Sektoren mit R404A als Haupt- oder Teilkältemittel sind im deutschen F-Gas-Modell folgende fünf:

- Supermarkt-Zentralanlagen (mittlere Füllmenge: 230 kg – 80% R404A/20% R134a)
- Discounter-Zentralanlagen (mittlere Füllmenge: 95 kg – 50% R404A/50% R134a)
- Mittlere Industriekälteanlagen (mittl. Füllmenge: 650 kg – 80% R404A/20% R407C)
- Große Industriekälteanlagen (mittl. Füllmenge: 4.000 kg – 80% R404A/20% R407C)
- Verflüssigungssätze (Füllmenge: mittl. Füllmenge 4 kg – 50% R404A/50% R134a).

Zur Unterscheidung zu anderen Szenarien nehmen wir an, dass ab 2020 keine Neuanlagen mehr mit R404A befüllt werden: Ab 2020 unterstellen wir, dass statt dessen R407A/F in in allen Neuanlagen zum Einsatz kommt, die mit R404A befüllt würden, wenn seine Nachfüllung mit Frischware oder mit aufgearbeiteter Ware nicht verboten wäre (siehe Fußnote 22).

In Analogie zur geltenden Regelung für R22, nehmen an, dass für bestehende R404A-Anlagen die Nachfüllung mit *aufgearbeitetem* R404A befristet auf fünf Jahre nach dem Verbot der Frischwaren-Nachfüllung erlaubt ist, d.h. bis 2025. Da aufgearbeitete Kältemittel nicht als Nachfrage zählen, senkt ihr Einsatz die HFKW-Nachfrage in dieser angenommenen Zeitperiode.

Davon ausgehend, nehmen wir weiter an, dass das Ende des Nachfüllens mit aufgearbeitetem R404A für bestehende Anlagen, für die ein Weiterbetrieb mit HFKW-Kältemitteln vorgesehen ist, ab 2025 auf Umrüstung dieser Anlagen auf die thermodynamisch vergleichbaren Kältemittel-Blends R407A oder R407F (GWP <2.500) hinausläuft.

Beide Kältemittel werden bereits heute in Großbritannien in zentralen Gewerbekälteanlagen als Ersatz für R22 und teilweise auch für R404A verwendet. R407F wird von Honeywell (Alleinlizenz) angeboten, R407A wird von allen namhaften F-Gas-Produzenten vermarktet. In unseren Berechnungen nehmen wir je zur Hälfte R407A (GWP: 2.107) bzw. R407F (GWP: 1.825) als Alternative für R404A an – mit

[24] Annex III.11 enthält außerdem das Verbot von "HFKW mit einem GWP von 2.500 oder mehr" bereits ab 1. Januar 2017 für hermetisch geschlossene gewerbliche Kühl- und Gefriergeräte. Die Auswirkung dieser Bestimmung betrachten wir vorerst nicht, da sie im UBA-Kältemittelmodell jährlich nur etwa 12 t R404A betrifft (47 ktCO_2Äq.) und damit von relativ untergeordneter Bedeutung ist.

durchschnittlichem GWP von 1.966[25]. R407A und R407F werden dabei als ein einziges Kältemittel behandelt und als "R407A/F" bezeichnet. R407C (GWP 1.775) wird nicht als Ersatz angenommen, da nach unserem Informationsstand damit nicht die gleiche Energieeffizienz wie beim Paar R407A/F erreicht werden kann.

Für die Berechnung des Effekts von Erstbefüllungs- und Nachfüllungsverbot auf die HFKW-Nachfrage ist von Bedeutung, dass in keinem der fünf Sektoren importierte, vorgefüllte Anlagen eine nennenswerte Rolle spielen. Daher können wir die Berechnung unabhängig vom „REF Szenario mit Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen“ durchführen.

Für die einzelnen Mengenkomponenten der HFKW-Nachfrage (Erstbefüllung, Befüllungsemissionen und Nachfüllung) gelten folgende Annahmen:

a) Erstbefüllung und Befüllungsemissionen: Verwendung von R404A bis 2019 zu 100%; Verwendung von R407A/F ab 2020 in allen Neuanlagen.
b) Nachfüllung: R404A bis 2019 zu 100%. Kontinuierlich steigender Einsatz von R407A/F ab 2020 – entsprechend dem wachsenden Anteil im Kältemittelbestand, der aufgrund der Erstbefüllungen mit R407A/F und der gleichzeitigen Abgänge von R404A zunimmt.
c) Für R404A, dessen Anteil im Kältemittelbestand und daher bei den erforderlichen Nachfüllmengen kontinuierlich sinkt, wird angenommen, dass es bis 2025 ganz aus wiederaufgearbeiteter Altware besteht, die bei der Entsorgung von R404A-Altanlagen gewonnen wird. Nur diese ist für Anlagen über 10 kg Füllmenge erlaubt. Von 2020 bis 2024 wird wiedereingefülltes R404A bei diesen Anlagen nicht als Nachfragekomponente betrachtet (die z.B. dem Phase down unterliegt).
d) Es gilt die Annahme, dass das bei der Altanlagenentsorgung zurückgewonnene R404A erstens zur Nachfüllung in bestehende Anlagen ausreicht (nach dem deutschen F-gas-Modell trifft dies zu) und dass ausreichende Aufarbeitungskapazitäten für die rückgegebene Kältemittelmenge bestehen. Letzteres ist in Deutschland gegenwärtig noch nicht der Fall.
e) Es gilt die Annahme, dass 2025 auch die Frist für wiederaufgearbeitetes R404A für die Nachfüllung endet, obwohl sich dem Modell zufolge im Kältemittelbestand langlebiger Anlagen noch R404A befindet, das emittiert. Nähere Ausführungen zum Umgang mit den noch bestehenden R404A-Altanlagen finden sich im Vorschlag nicht und wurden auch in den anschließenden Diskussionen nicht vorgebracht. Unter unserer genannten Voraussetzung ergibt sich aber logischerweise der Zwang für die Betreiber von R404A-Anlagen, dieses Kältemittel in bestehenden Anlagen auszutauschen. Das bedeutet in unserer Rechnung: Entnahme des alten Kältemittels sowie Umrüstung auf und Befüllung mit R407A/F.
f) In unserem Modell nehmen wir an, dass der R404A-Austausch durch R407A/F in den Anlagen, die vor 2020 neu installiert worden sind, innerhalb von fünf Jahren realisiert wird (2025-2029), so dass es 2030 keine Anlagen mit R404A mehr gibt.
g) Aufgrund der Annahme (d) besteht die Nachfüllung ab 2025 nicht mehr teilweise aus rückgewonnenem R404A und neuem R407A/F, sondern gänzlich aus R407A/F. Diese Nachfüllung erhöht damit die bereits für die Erstfüllung ab 2020 verwendete Menge von R407A/F.
h) Für stationäre Anlagen <10 kg (in der Praxis Verflüssigungssätze) besteht ab 2020 nur ein Erstbefüllungsverbot, aber kein Nachfüllverbot für R404A. Wir nehmen daher weder

25 Der Vorschlag der Verwendung von R404A/F anstelle von R404A wurde in der Diskussion bis Mitte 2013 von SKM-Enviros eingebracht, die in UK eine größere Anzahl derartiger Umstellungen sowie einige Erstbefüllungen in Supermärkten beobachtet haben.

Nachfüllpflicht mit rückgewonnenem R404A ab 2020 an noch Umrüstung bestehender R404A-Anlagen durch R407A/F ab 2025. Die Zusammensetzung der Nachfüllung zwischen R404A und R407A/F entspricht der Zusammensetzung des sich zugunsten von R407A/F erhöhenden Anteils im Kältemittelbestand.

Aus den genannten Annahmen ergeben sich Reduktionen der HFKW-Nachfrage, die wir nachfolgend grafisch und in Zahlen darstellen – in Abbildung 8 in Bezug auf die Nachfragekurve des Szenarios REF+ Inverkehrbringungsverbot Vorfüllung (REF+ prechBan), die bereits in Abbildung 7 enthalten war.

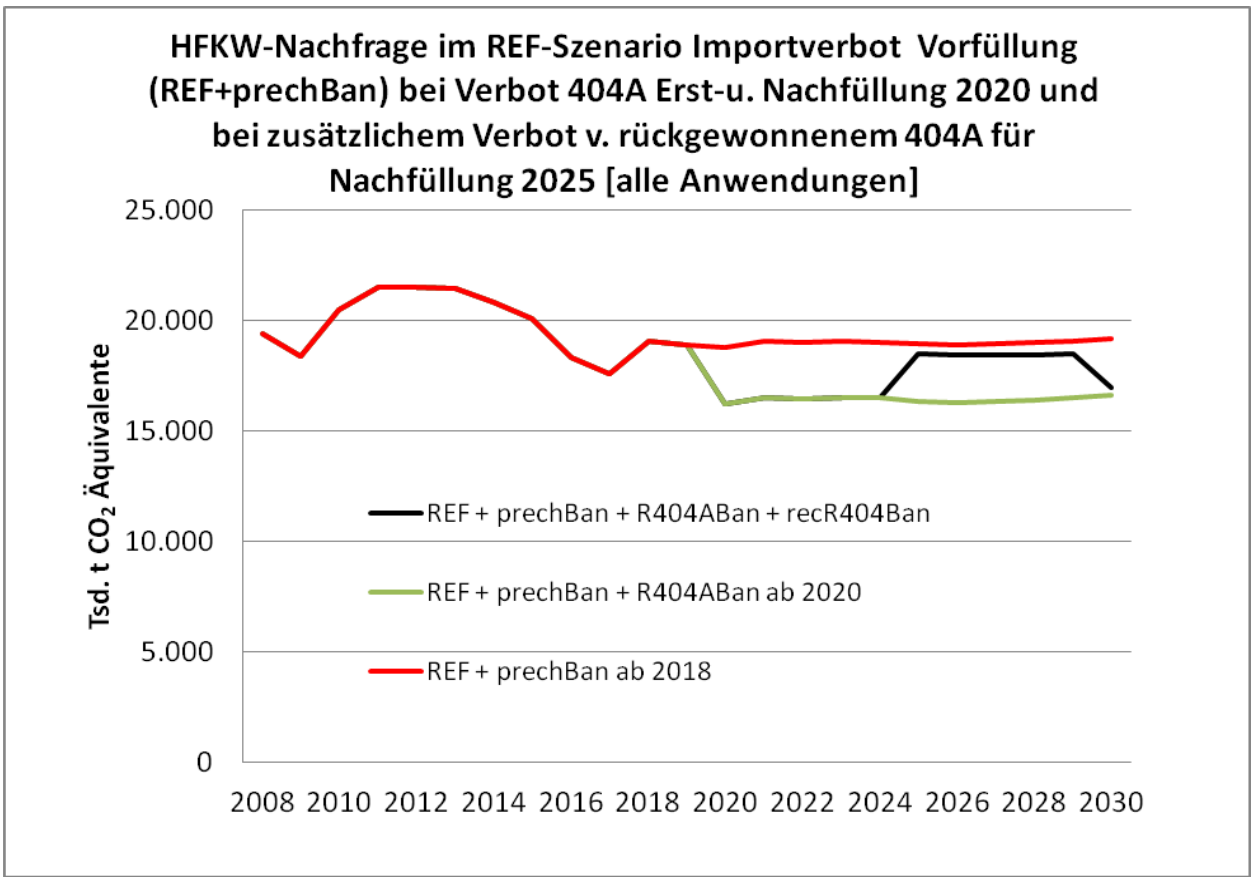


Abbildung 8: Reduktion der HFKW-Gesamtnachfrage als Folge von (1) Verbot für R404A-Erstbefüllung stationärer Kälteanlagen aller Größen ab 2020einschl. für Nachfüllung von frischem R404A in Anlagen › 10kg ab 2020 sowie (2) zusätzlich dazu Nachfüllverbot mit rückgewonnenem R404A ab 2025, das die Umrüstung noch bestehender R-404A-Anlagen auf R-407A/F ab 2025 bewirkt. Kältemittel der Erstfüllung ab 2020 ist R-407A/F, Kältemittel der Nachfüllung 2020-2024 ist rückgewonnenes R404A (zählt nicht als Nachfrage), Kältemittel der Nachfüllung ab 2025 ist R407A/F. Die Wirkung wird auf das REF-Szenario Inverkehrbringungsverbot Vorfüllung (REF + prechBan) bezogen. Im Jahr 2025 steigt die HFKW-Nachfrage bei Verbot der Nachfüllung mit rückgewonnenem R404A (REF+prechBan+R404ABan+recR404Ban) vorübergehend an, weil R407A/F für die Umrüstung benötigt wird. Erst 2030 erreichen die beiden Reduktionskurven "REF+prechBan+R404ABan" und "REF+prechBan+R404ABan+recR404Ban" wieder gleiche Höhe.

In der grafischen Darstellung wird sichtbar, dass als Folge des R404A-Nachfüllverbots und des R404A-Erstbefüllungsverbots für stationäre Anlagen mit Füllmenge >10 kg ab 2020 die HFKW-Nachfrage 2020 scharf abfällt (um etwa 2,5 MT CO_2 Äq.) und bis 2030 auf diesem niedrigeren Niveau weiter verläuft (grüne Linie). Der Rückgang und der abgesenkte Verlauf ab 2020 sind die Folge von

- der alternativen Erstbefüllung aller Anlagengrößen mit R407A/F anstatt mit R404A. Die Klimawirkung dieser Nachfragekomponente halbiert sich ab 2020 dauerhaft, weil das GWP von 3.922 auf 1.966 sinkt.
- Außerdem ergibt sich dieser Verlauf wegen der Verpflichtung, zwecks Nachfüllung größerer Anlagen, die vor 2020 neu installiert wurden (in Supermarkt- und Industriekälte), nur rückgewonnenes R404A-Kältemittel einzusetzen, das nicht als Nachfrage zählt. Daher ist die Reduktionswirkung 100%. Dies trifft aber nur im ersten Jahr voll zu. Denn in dem Maße, wie neue Anlagen mit R407A/F befüllt werden, sinkt der Nachfüllanteil von (rückgewonnenem) R404A und steigt der Nachfüllanteil von R407A/F. Letzterer zählt als Nachfrage, wenn auch nur mit halb so hohem GWP wie (frisches) R404A. Es versteht sich von selbst, dass diese ab 2020 installierten neuen Anlagen nicht mit rückgewonnenem R404A nachgefüllt werden können, sondern R407A/F erfordern.

Ab 2025 spaltet sich von dieser Nachfragekurve eine andere ab, die bis fast auf das Niveau der Nachfragekurven des REF-Szenarios bei Importverbot für Vorfüllung (REF+prechBan+R404ABan) ansteigt und fünf Jahre lang auf erhöhtem Niveau weiter verläuft (schwarze Linie). Erst 2030 sinkt sie wieder ab, und zwar zurück auf das Niveau der oben beschriebenen Nachfragekurve. Der vorübergehend erhöhte Kurvenverlauf (2025-2029) ergibt sich paradoxerweise aus der Annahme, dass bis 2025 nur rückgewonnenes R404A zur Nachfüllung bestehender Kälteanlagen (= Supermarkt- und Industriekälte) verwendet werden darf. Denn aus der Befristung dieser Maßnahme bis 2025 folgt zwangsläufig das Ende des sicheren regulären Betriebs von R404A-Anlagen, die auf Kältemittelnachfüllung angewiesen sind. Da R404A nicht mehr zur Verfügung stehen wird (weder als Frischware noch als Recyclat), müssen ab 2025 (nach unseren Voraussetzungen) die noch bestehenden R404A-Anlagen mit Füllmengen > 10 kg (40 t CO_2 Äq.) auf den Betrieb mit R407A/F umgerüstet werden.

Die Befristung der Nachfüllung mit (rückgewonnenem) R404A bis 2024 löst daher ab 2025 eine zusätzliche Nachfrage nach R407A/F aus. Nach unseren Annahmen dauert die Umstellung fünf Jahre, so dass zwischen 2025 und 2029 die HFKW-Gesamtnachfrage in jedem Jahr um ca. 2 MT CO_2 Äq. höher verläuft als ohne diese Maßnahme. Auf die Entsorgungsemissionen, die bei der Entnahme von R404A aus bestehenden Anlagen entstehen, sei in diesem Zusammenhang nur hingewiesen.

Der vorübergehende Anstieg der HFKW-Nachfrage als Folge des Verbots für R404A in jeder Form, auch als wieder aufgearbeitete Altware, ist sicher als Nachteil der Maßnahme anzusehen[26]. Dies auch deshalb, weil die Umrüstung nicht nur eine zusätzliche Nachfrage nach Kältemittel auslöst, sondern den Betreibern auch erhebliche Kosten verursacht. Auch ist es fraglich, ob die umgerüsteten älteren Anlagen ihren bisherigen Energieverbrauch halten können. Gleichwohl wäre der Effekt derartiger Umrüstung von (langlebigen) Anlagen in den Jahren nach 2030 eine Reduktion der Klimawirkung der Nachfüll-Nachfrage um die Hälfte. Die Zahlenwerte, die der Abbildung 8 zu Grunde liegen, sind in Tabelle 21 wiedergegeben.

[26] In der Endfassung der F-Gase-Verordnung beträgt die Befristung der Nachfüllung mit aufgearbeitetem Kältemittel nicht nur 5, sondern 10 Jahre. Das erlaubt eine viel längere Nutzung von Altanlagen und vermindert entscheidend die Zahl der Umrüstungen.

Tabelle 21: HFKW-Gesamtnachfrage als Folge von (1) Verbot allgemeiner R404A-Erstbefüllung einschl. Pflicht zur Nachfüllung mit R404A-Recyclingware für Anlagen >10 kg und (2) zusätzlicher Umrüstung bestehender R404A-Anlagen ab 2025 auf R407A/F – in Bezug auf "REF-Szenario + Inverkehrbringungsverbot Vorfüllung" – von 2017 bis 2030 – ($ktCO_2$ Äq.)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1. REF + prechBan ab 2018	17.605	19.064	18.909	18.803	19.043	19.011	19.051	18.983	18.947	18.903	18.948	19.000	19.064	19.152
2. REF + prechBan + R404ABan	17.605	19.064	18.909	16.218	16.486	16.473	16.531	16.482	16.341	16.304	16.357	16.419	16.494	16.598
3.REF+prechBan+ 404ABan+rec404ABan	17.605	19.064	18.909	16.218	16.486	16.473	16.531	16.482	18.507	18.426	18.434	18.451	18.479	16.938
Differenz 1-2	0	0	0	2.585	2.557	2.538	2.520	2.501	2.606	2.599	2.591	2.581	2.570	2.553
Differenz 1-3	0	0	0	2.585	2.557	2.538	2.520	2.501	440	477	513	550	585	2.214

Aus den Zahlen in Tabelle 21 geht hervor, dass im Jahr 2030, gemessen am REF-Szenario "Importverbot Vorfüllung", etwa 2,5 MT CO_2 Äq. durch die für sich genommene Maßnahme "R404A-Erst- und Nachfüllverbot mit Frischware ab 2020" eingespart werden können (Differenz 1-2).

Wird zusätzlich die Nachfüllung mit rückgewonnenem R404A ab 2025 verboten, fällt die Reduktion ab 2025 wesentlich geringer aus (Differenz 1-3). Allerdings ist sie im Jahr 2030 wieder fast so hoch wie ohne diese Maßnahme. Ab 2030 ist die Reduktion größer, weil (nach unseren Annahmen) die Umrüstung 2029 abgeschlossen wird und statt R404A mit GWP 3.922 nur noch R407A/F mit GWP 1.966 nachgefüllt wird.

4.2.2.4 Einsatz alternativer Technologien und Auswirkungen auf die HFKW-Nachfrage im REF-Szenario mit Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen

Der bei weitem größte Reduktionseffekt auf die HFKW-Nachfrage geht von der Umstellung auf alternative Technologien ohne HFKW aus, die an die Stelle konventioneller HFKW-basierter Verfahren treten. Die Umstellung wird im MIN-Szenario abgebildet.

Dabei ergibt sich die Reduzierung der HFKW-Nachfrage aus der Zunahme der Nachfrage nach Technologien und Verfahren ohne HFKW (siehe: MIN-Szenario), die ihrerseits den im Modell enthaltenen Marktdurchdringungsraten folgen.

Für die Auswahl der Alternativen zu HFKW-Technologien werden solche Optionen in die Reduktionsberechnung aufgenommen, bei denen die Vermeidungskosten weniger als 50 €/t CO_2-Äq. betragen und die sich nicht mit gleichartigen alternativen Optionen überschneiden.

In unserer Analyse kommen alternative Technologien (AT) mit Vermeidungskosten <50 €/t CO_2 Äq. in insgesamt 28 Sektoren/Untersektoren vor. Das sind deutlich mehr als solche, die vom Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen (9 Sektoren) oder den Neu- oder Nachfüllverboten für R404A (5 Sektoren) betroffen sind. Neben Kälte-Klimaanwendungen werden auch HFKW in Aerosolen, Dämmschäumen, Lösemitteln betrachtet. In weiteren 15 Sektoren bzw. Untersektoren (s. 7.1.1) wurden keine alternativen Technologien in Bezug auf konventionelle HFKW-Verfahren analysiert, weil diese Sektoren entweder zu klein sind, weil für sie keine Alternativen bekannt sind oder weil bereits Verbotsmaßnahmen nach der F-Gase-Gesetzgebung von 2006 bestehen. Letzteres trifft auf Pkw-Klimaanlagen, Montageschaum, Novelties oder R134a im Magnesium-Druckguss zu. Eine Aufstellung dieser "Restsektoren" liegt

vor, einschließlich des Umfangs der von ihnen ausgehenden HFKW-Nachfrage (s. 7.1.1).

Die Umsetzung des Umstiegs auf Alternativen schließt im Effekt auch die meisten der weiteren Verbotsmaßnahmen nach Annex III ein, weil sich die Marktdurchdringungsraten alternativer Technologien im Verbotsjahr ohnehin auf 100% addieren. Es handelt sich um folgende Verbote:

- HFKW-23 als Feuerlöschmittel ab 2015 (AT-Marktdurchdringung 100%)
- HFKW für Haushalts-Kühlgeräte ab 2015 (AT-Marktdurchdringung bereits vorher 100%)
- R404A für steckerfertige Geräte der Gewerbekälte ab 2017 und generell von HFKW für steckerfertige Geräte der Gewerbekälte ab 2020 (AT-Marktdurchdringung 2017/2018 100%)
- HFKW in mobilen Raumklimageräten ab 2020 (AT- Marktdurchdringung 90%, aber 100% in 2023).

Diese Verbote müssen nicht separat betrachtet werden, da ihre Wirkung im jeweils angenommenen Umstieg auf Alternativen enthalten ist (Kapitel 3.2.1). Auf weitere Einzelheiten des Ansatzes und der Resultate der Umsetzung alternativer Technologien gehen wir an dieser Stelle nicht ein.

Nachfolgend wird die Nachfrageentwicklung entsprechend der Umstellung auf Alternativen abgebildet („MIN-Szenario“) und mit dem Szenario „REF+prechBan“, das das Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen enthält, verglichen (Abbildung 9).

Es sei darauf hingewiesen, dass in diesem Szenario (MIN-Szenario mit Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen: „MIN + prechBan“) die Umstellung auf Alternativtechnologien, die die untere Nachfragekurve bildet, für sich genommen betrachtet wird, unabhängig von den R404A-Befüllverboten. Gleichermaßen waren im vorherigen Abschnitt die R404A-Füllung und Nachfüllverbote für sich genommen untersucht worden, unabhängig vom Einsatz alternativer Technologien.

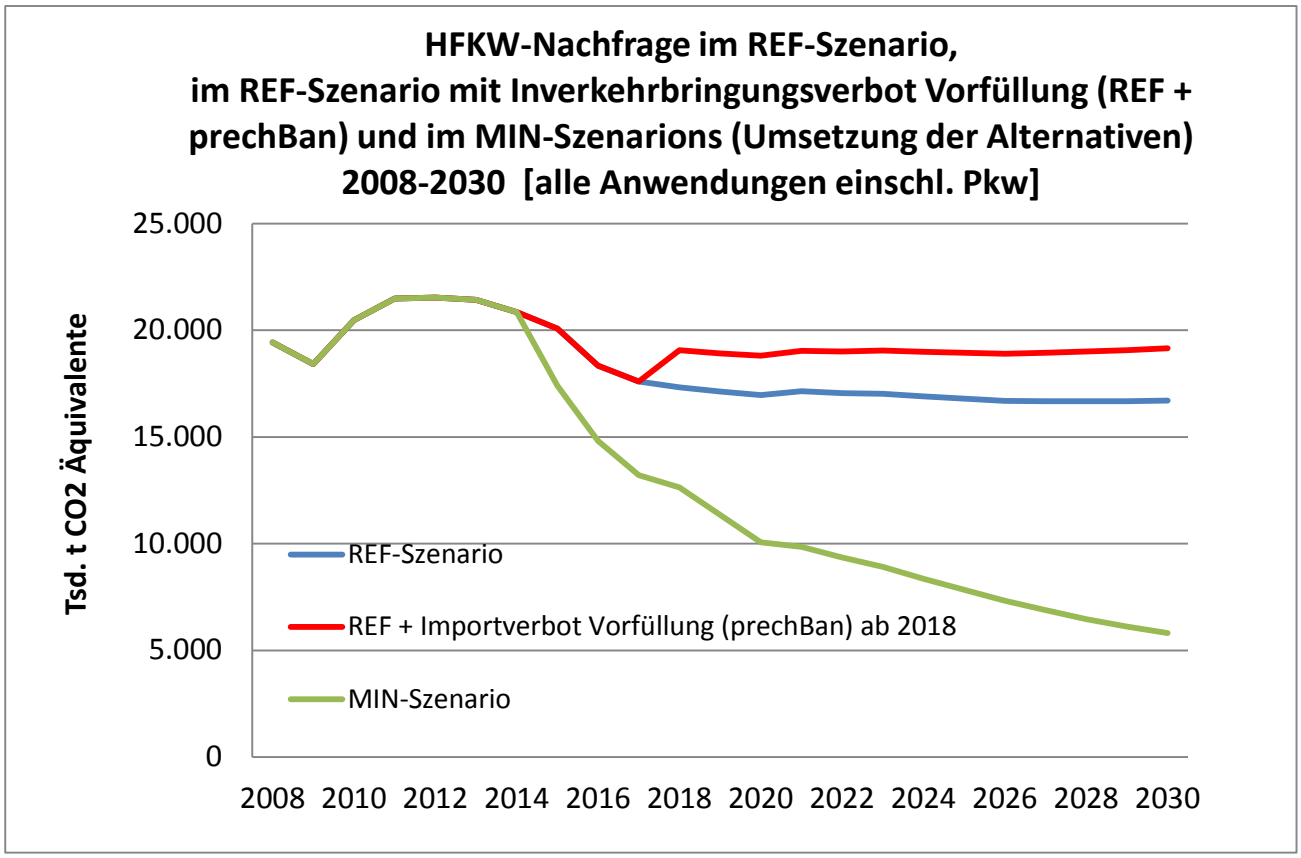


Abbildung 9: HFKW-Nachfrage 2008-2030 im REF-Szenario, dem REF-Szenario plus Inverkehrbringungsverbot für Vorfüllungen und der Umsetzung alternativer Technologien in 26 Sektoren (MIN-Szenario). Das MIN-Szenario wird für sich genommen betrachtet – ohne R-404A-Füllverbote. Im Jahr 2030 beträgt der Unterschied zwischen "REF + prechBan" und "MIN-Szenario" 13,348 MT CO_2 Äq. Die Nachfrage beträgt noch 5,804 MT CO_2 Äq. oder 29% des Durchschnitts 2008-2011. Der Unterschied zwischen MIN-Szenario und REF-Szenario (ohne Vorfüll-Importverbot) ist geringer; er beträgt 10,961 MT CO_2 Äq.

Der Vergleich der Abbildung 9 mit der Abbildung 8 zeigt: Der spezifische Reduktionseffekt der umfassenden Umstellung auf Alternativen ohne HFKW ist viel größer als derjenige der spezifischen R404A-Verbote.

Tabelle 22 zeigt, dass die Umstellung auf Alternativen (MIN-Szenario), wenn sie auf die Nachfrage des REF-Szenarios mit Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen (REF+prechBan) bezogen wird, im Jahr 2030 zu einer Reduktion um 13,348 MT CO_2 Äq. führt, und zwar auf ein Niveau von 5,804 MT CO_2 Äq. Die Nachfrage des Jahres 2030 macht noch etwa 29% des Ausgangswerts von 19,950 MT CO_2 Äq. (Durchschnitt 2008-2011) aus.

Mit einer Differenz zum Szenario „REF+prechBan“ in Höhe von 13,348 MT CO_2 Äq. ist der für sich genommene Reduktionseffekt der Umstellung auf Alternativen (MIN-Szenario) über vier Mal so groß wie die spezifischen Reduktionseffekte der R404A-Füllverbote, die zwischen 2,2 und 2,5 MT CO_2 Äq. betragen (siehe Tabelle 21).

Tabelle 22: Projizierte HFKW-Gesamtnachfrage als Folge der umfassenden Umsetzung alternativer Technologien (MIN-Szenario) in Relation zum REF-Szenario und zum REF-Szenario + Inverkehrbringungsverbot Vorfüllung (REF + prechBan) – von 2017 bis 2030 (kt CO_2 Äq.)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1. REF-Szenario	17.605	17.332	17.121	16.960	17.138	17.046	17.025	16.896	16.800	16.694	16.678	16.670	16.672	16.699
2 REF + prechBan	17.605	19.064	18.909	18.803	19.043	19.011	19.051	18.983	18.947	18.903	18.948	19.000	19.064	19.152
3. MIN-Szenario zu REF-Szenario	13.287	12.158	11.048	9.952	9.747	9.254	8.818	8.258	7.753	7.234	6.802	6.388	6.041	5.738
4. MIN-Szenario zu REF+prechBan	13.210	12.632	11.345	10.061	9.853	9.356	8.915	8.351	7.814	7.317	6.881	6.462	6.111	5.804
Differenz 1-3	4.319	5.174	6.074	7.008	7.390	7.791	8.207	8.638	9.047	9.461	9.876	10.282	10.631	10.961
Differenz 2-4	4.395	6.433	7.564	8.742	9.190	9.655	10.136	10.632	11.106	11.586	12.067	12.539	12.953	13.348

Anmerkung: Die absoluten Nachfragewerte im MIN-Szenario (Zeilen 3 und 4) unterscheiden sich unwesentlich voneinander, ob die Umsetzung alternativer Technologien auf das REF-Szenario (REF) (Zeile 1) oder das REF-Szenario + Inverkehrbringungsverbot Vorfüllung (REF+prechBan; Zeile 2)) bezogen wird. Auf getrennte Darstellung wurde daher in Abb. 5 verzichtet.

4.2.2.5 Kombinierte Wirkung der Umsetzung alternativer Technologien und der R404A-Füllverbote auf die Nachfrage des REF-Szenarios einschl. Inverkehrsbringungsverbot für Vorfüllung

Wir führen die Berechnung des Kombinationseffekts in der Weise durch, dass wir die Erst- und Nachfüllverbote für R404A in jedem Jahr bis 2030 auf die Nachfrage nach R404A beziehen, die im MIN-Szenario nach Umstellung auf Alternativtechnologien im entsprechenden Jahr noch besteht. Es versteht sich, dass die R404A-Verbote die HFKW-Nachfrage des MIN-Szenarios nicht um den absoluten Betrag vermindern können, der gegenüber dem vollen REF-Szenario plus Importverbot Vorfüllung (REF + prechBan) errechnet wurde.

Die Füllverbote datieren ab 2020, die Umstellung auf Alternativen gemäß MIN-Szenario beginnt bereits 2015. Darum kommt es fünf Jahre lang zu keinem zusätzlichen Reduktionseffekt durch die R404A-Füllverbote.

Im Jahr 2020 ist gemäß Modell durch die Umstellung auf Alternativtechnologien in den sechs von R404A-Füllverboten betroffenen Sektoren die R404A-Nachfrage bereits erheblich reduziert, weil die Marktdurchdringungsraten der HFKW-freien Alternativen für Neuanlagen bereits hohe Prozentsätze erreicht haben. Diese sind 2030 selbstverständlich noch höher als 2020 (Tabelle 23).

Tabelle 23: Marktdurchdringungsraten HFKW-freier Neuanlagen in den Sektoren mit R404A-Anwendung 2020 und 2030 (nach Modell)

R404A-Sektoren	Stichjahr 2020	Stichjahr 2030
Gewerbliche Supermarkt-Zentralanlagen	100%	100%
Gewerbliche Discounter-Zentralanlagen	100%	100%
Mittlere Industriekälteanlagen	40%	90%
Große Industriekälteanlagen	40%	90%
Verflüssigungssätze	100%	100%
Kühlfahrzeuge (Lkw und Anhänger)	65%	100%

Das bedeutet, dass die spezifische Wirkung des Erstbefüllverbotes mit R404A bereits im ersten Jahr seiner Geltung (2020) stark eingeschränkt ist und nur für Industriekälteanlagen und Kühlfahrzeuge überhaupt noch relevant ist. Die für sich genommene Wirkung des Erstbefüllverbots gegenüber der Umstellung auf Alternativen wird bis 2030 noch erheblich nachlassen, weil sie dann nur noch Industriekälteanlagen betrifft.

Im Vergleich zum isoliert betrachteten Erstbefüllverbot zeigt das Nachfüllverbot mehr Wirkung, weil in den sechs betroffenen Sektoren (bei gegebenen Modellannahmen) die vor 2020 neu in Betrieb genommenen R404A-Anlagen noch fortbestehen, da sich die Umsetzung HFKW-freier Alternativen im Modell nur auf neue Anlagen bezieht. Die Nachfüllmengen (bzw. Betriebsemissionen) sind durch die Umsetzung der Alternativen im MIN-Szenario im Jahr 2020 und im Jahr 2030 um folgende Prozentsätze reduziert (Tabelle 24):

Tabelle 24: Auswirkung der Marktdurchdringung von Neuanlagen (ab 2015) auf die Nachfüll-Nachfrage in den Sektoren mit R-404A-Anwendung 2020 und 2030 (nach UBA-Modell)

R404A-Sektoren	Stichjahr 2020	Stichjahr 2030
Gewerbliche Supermarkt-Zentralanlagen	35%	97%
Gewerbliche Discounter-Zentralanlagen	48%	100%
Mittlere Industriekälteanlagen	6%	29%
Große Industriekälteanlagen	6%	29%
Verflüssigungssätze	34%	99%
Kühlfahrzeuge (Lkw und Anhänger):	29%	84%

Aus Tabelle 24 ergibt sich, dass die R404A-Nachfüllverbote im Jahr 2020 in allen Sektoren erhebliche Mengen von R404A betreffen, so dass von der Verwendung von wieder aufgearbeitetem Kältemittel, die nicht als Nachfrage gilt, eine beachtliche Reduktionswirkung ausgeht. Diese ist im Jahr 2030 in den nicht-industriellen Sektoren aber kaum mehr vorhanden – auch ohne Befristung der Nachfüllung mit Recycling-Kältemittel. Dort ist nur noch wenig Bedarf für eine HFKW-Nachfüllung und soweit dieser noch vorhanden ist, wird für die Nachfüllung das Kältemittel R407A/F verlangt.

Es bleibt allerdings ein erheblicher Bedarf nach HFKW-Nachfüllung in der Industriekälte. Dies hängt mit der langen, bis zu 30 Jahre währenden Lebensdauer der Anlagen zusammen, die von der Marktdurchdringung der Alternativtechnologien für Neuanlagen noch nicht berührt werden. Die Industriekälte ist der Hauptverbraucher von HFKW-Kältemitteln im Jahr 2030 und im Wesentlichen dafür verantwortlich, dass die R404A-Füllverbote einen spezifischen Reduktionseffekt zusätzlich zum MIN-Szenario leisten. Wie aus Abbildung 10 zu sehen ist, ist er 2030 deutlich geringer als 2020.

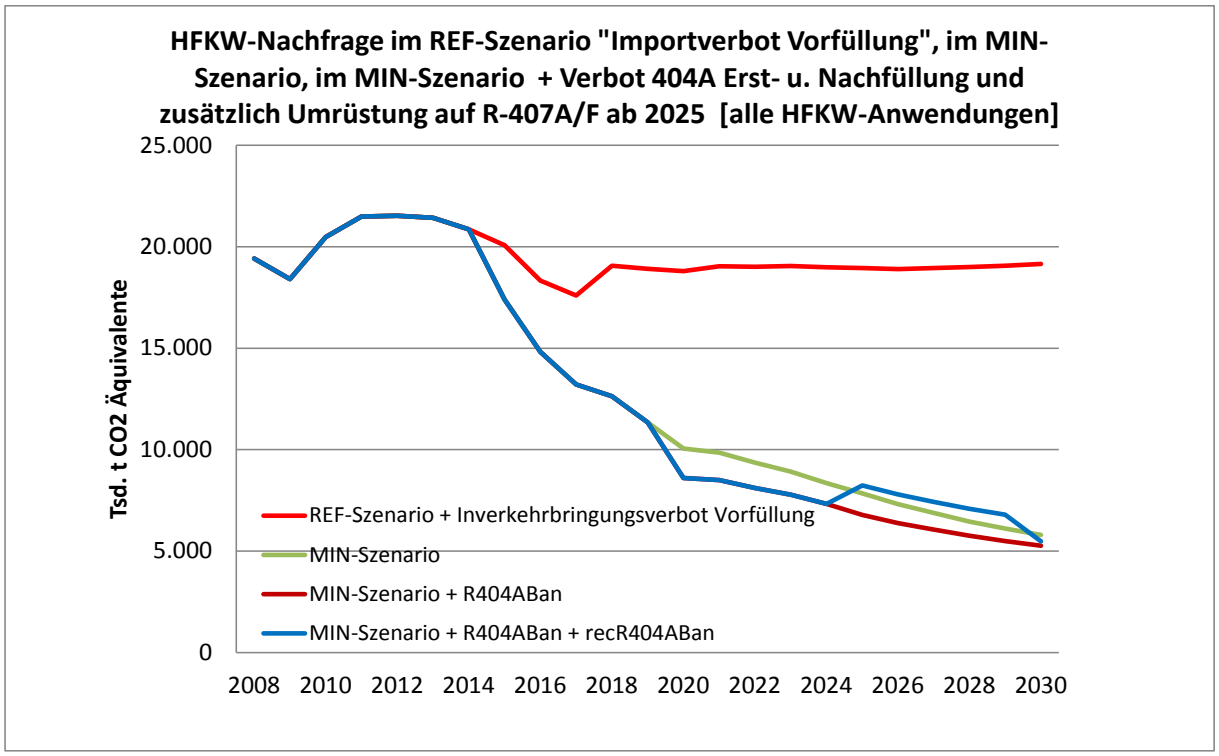


Abbildung 10: HFKW-Nachfrage 2008-2030 im REF-Szenario plus Inverkehrbringungsverbot für Vorfüllung (REF+prechBan), im MIN-Szenario und bei Kombination der Umsetzung alternativer Technologien des MIN-Szenarios mit den R404A-Füllverboten. Die unterste Kurve drückt die Nachfrage ohne Befristung der Nachfüllung rückgewonnenen R404A aus. Von ihr spaltet sich 2025 nach oben für 5 Jahre die Kurve der Nachfrage ab, die aus der Umrüstung noch bestehender R404A-Anlagen resultiert, wenn kein rückgewonnenes R404A mehr nachgefüllt werden darf und frisches R407A/F eingesetzt werden muss. Im Jahr 2030 erreicht die Nachfrage des MIN-Szenarios alleine 5,804 MT CO_2Äq, bei Kombination mit den R404A-Füllverboten 0,540 MT CO_2Äq. weniger.

Tabelle 25 zeigt in Zeile 5 für das Erst- und Nachfüllverbot mit R404A ab 2020 (ohne Befristung der Nachfüllung mit rückgewonnenem R404A) einen zusätzlichen Reduktionseffekt gegenüber dem MIN-Szenario von 1,461 MT CO_2 Äq. im Jahr 2020 und von 0,540 MT CO_2 Äq. im Jahr 2030. Gegenüber dem Basiswert 2008-2011 von 19,950 MT CO_2 Äq. beträgt die restliche Nachfrage (Zeilen 2 und 3) des Jahres 2030 nicht 29%, sondern nur 26,4%.

Im Jahr 2030 bleiben im MIN-Szenario 5,804 MT CO_2 Äq. übrig, bei Kombination mit den Füllverboten von 2020 (MIN + R404ABan) nur noch 5,263 MT CO_2 Äq. (Auf den Zusatzeffekt aus der Umrüstung bestehender Anlagen von R404A auf R407A/F ab 2025 (recR404ABan) gehen wir unten abschließend ein).

Tabelle 25: HFKW-Gesamtnachfrage durch Kombination der Umsetzung alternativer Technologien im MIN-Szenario mit den R404A-Füllverboten in Bezug auf das "REF-Szenario einschl. Inverkehrbringungsverbot Vorfüllung" (REF+prechBan) – 2017 bis 2030 (kt CO_2 Äq.).

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1. REF + prechBan ab 2018	17.605	19.064	18.909	18.803	19.043	19.011	19.051	18.983	18.947	18.903	18.948	19.000	19.064	19.152
2. MIN-Szenario	13.210	12.632	11.345	10.061	9.853	9.356	8.915	8.351	7.814	7.317	6.881	6.462	6.111	5.804
3. MIN-Szenario + R404A-Bans 2020	13.210	12.632	11.345	8.600	8.502	8.110	7.777	7.323	6.785	6.382	6.065	5.766	5.494	5.263
4. MIN-Szenario + R404A-Ban + recR404ABan	13.210	12.632	11.345	8.600	8.502	8.110	7.777	7.323	8.238	7.793	7.433	7.091	6.796	5.479
5.Zusätzl Reduktion R404ABan zu MIN-Szen. Differenz 2-3	0	0	0	1.461	1.351	1.246	1.138	1.028	1.057	936	816	696	617	540
6 Zusätzl Reduktion R404ABan + recR404ABan zu MIN-Szen. Differenz 2-4	0	0	0	1.461	1.351	1.246	1.138	1.028	-397	-476	-552	-629	-685	324

Abschließend zu der Annahme einer Befristung der Nachfüllung mit rückgewonnenem R404A auf 5 Jahre: Diese Maßnahme führt vorübergehend zu einer merklichen Erhöhung der Gesamtnachfrage nach HFKW, die durch R407A/F gebildet wird, das anstelle von rückgewonnenem R404A verwendet wird, und zwar nicht nur zur Nachfüllung von Emissionen aus bestehenden Anlagen, sondern außerdem zur Befüllung der gesamten, bei der Umrüstung entleerten Anlagen. In Zeile 6 der Tabelle 25 zeigt sich daher zwischen 2025 und 2029 eine "negative" Reduktion, d.h. die Gesamtnachfrage verläuft höher als bei reiner AT-Umsetzung. Erst nach Ende der Umrüstung tritt Entlastung ein: Die Nachfrage verläuft dann wieder unterhalb der Kurve der reinen AT-Umsetzung (um 0,324 MT CO_2 Äq.). Ab 2031 verläuft sie auch unterhalb der Nachfragekurve der Kombination von AT-Umsetzung ab 2015 und den R404A-Füllverboten ab 2020.

Gleichwohl ist die Frage zu stellen, ob der Zusatznutzen durch die Umrüstung ab 2031 die Mehrnachfrage der Jahre 2025-2029 lohnt. Dies ist auch finanziell gemeint, da die Kosten der Umrüstung, die hier nicht quantifiziert werden können, sicherlich recht hoch sein dürften.

Zu beachten ist allerdings, dass die Existenz von R404A-Anlagen in der Industriekälte nach 2024 eine Modellannahme ist. In der Realität mag der Ausstieg aus R404A schneller von sich gehen, alleine durch die Betreibersorge mangelnder Versorgungssicherheit mit R404A.

4.2.2.6 Bewertung der Verbotsmaßnahmen

Die Modellierung der nachfragebezogenen Maßnahmen des EU-Vorschlags zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung vom November 2012 auf Basis des Diskussionsstandes Mitte 2013 führt zu folgender Einordnung:

- Das Inverkehrbringungsverbot vorbefüllter Einrichtungen trägt ab Einführung im Jahr 2018 zu einer Erhöhung der HFKW-Nachfrage bei. Das ist der Fall, weil die Geräte leer

importiert werden und für ihre inländische Erstbefüllung zusätzliche HFKW-Bulk-Mengen zur Verfügung stehen müssen.

- Die Erst- und Nachfüllverbote für R404A-Frischware senken die HFKW-Nachfrage: Einerseits im Falle einer Umrüstung auf R407A/F mit geringerem Treibhauspotenzial, andererseits im Falle der Verwendung von rückgewonnenem R404A, das nicht als Nachfrage zählt.
- Eine Befristung der Nachfüllung mit rückgewonnenem R404A bis 2024 löst ab 2025 eine zusätzliche Nachfrage nach R407A/F aus, da R404A nicht mehr zur Verfügung stehen wird und die noch bestehenden R404A-Anlagen ab 2025 auf den Betrieb mit R407A/F umgerüstet werden müssen.
- Während die genannten Maßnahmen vor allem zu zeitlichen Verschiebungen der HFKW-Nachfrage, aber zu keinem deutlichen Rückgang führen, resultieren aus der Umstellung auf Alternativen (MIN-Szenario) deutliche Reduzierungen der HFKW-Nachfrage.
- Die Umstellung auf Alternativen kann mit den anderen Maßnahmen kombiniert werden.
- Im Zeithorizont 2030 heben sich die berechneten Nachfrageeffekte der drei Verbotselemente im Wesentlichen gegenseitig auf.

4.2.2.7 Bewertung des vorgeschlagenen Phase down-Stufenplans

Für die Mengenbeschränkungen für HFKW ist im Revisionsvorschlag zur F-Gase-Verordnung ein Reduktionsfahrplan vorgesehen (Annex V), der 2015 mit 100% der Baseline (Mittelwert der Jahre 2008-2011) beginnt und bis 2030 in Stufen bis auf 21 % des Startwertes absinkt. Dieser Stufenplan zur Reduktion der in Verkehr gebrachten Mengen wird als EU Phase down bezeichnet (Kapitel 4.1).

Im Revisionsvorschlag zur EU-F-Gase-Verordnung bleiben Details der Berechnung der Baseline allerdings unklar. Es ist nicht exakt definiert, ob für die Baseline von den produzierten und importierten Mengen die Exporte abgezogen werden oder nicht.

Um die potenzielle Wirkung des EU Phase down trotzdem bewerten zu können, wurden zwei Szenarien angenommen: Im Phase down-Szenario #1 wird eine stringent definierte Baseline angenommen, die um die Exporte bereinigt ist. Im Phase down-Szenario #2 wird eine aufgeblähte Baseline angenommen, die nicht um die Exporte bereinigt ist.

Mit Hilfe von Kostenkurven aus dem von Öko-Recherche und Öko-Institut entwickelten Europäischen AnaFGas-Modell, welches in mehreren Szenarien Nachfrage und Emissionen von F-Gasen in der EU-27 abbildet, wurde für beide Phase down-Szenarien abgeschätzt, welches EU-weite Preissignal aus der Verknappung des HFKW-Angebots zu erwarten ist.

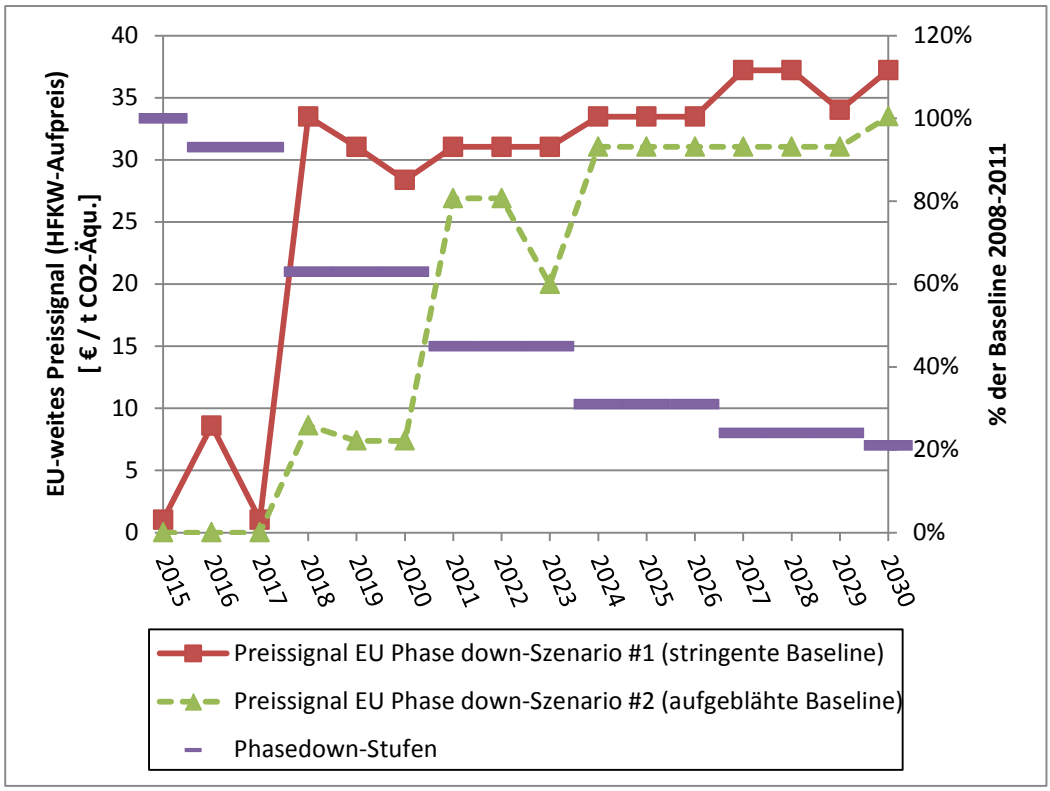


Abbildung 11: Zeitliche Entwicklung des Preissignals aus dem EU Phase down.

Abbildung 11 stellt die so modellierte Entwicklung des Preissignals (HFKW-Aufpreis) beider Phase down-Szenarien den Reduktionsschritten des Phase down-Schemas gegenüber. Die Reduktionsschritte sind dabei in sich über mehrere Jahre erstreckenden Stufen angelegt, wobei allerdings die Mengenbegrenzung jahresscharf eingehalten werden muss. Das heißt, es kann in der Erfüllung der Reduktion (im Gegensatz zum Beispiel zu den Handelsphasen des EU Emissionshandels) nicht über mehrere Jahre integriert werden.

Qualitativ ist innerhalb beider Szenarien zu beobachten, dass das modellierte Preissignal immer zum Ende einer Phase down-Stufe hin sinkt. Dies ist plausibel, da im Zeitverlauf die Potenziale von HFKW-freien Alternativtechnologien bei anstehenden Neu- oder Ersatzinvestitionen kontinuierlich zunehmen, das Anforderungsniveau aus den Phase down-Stufen aber konstant bleibt. Beim Übergang von einer Phase down-Stufe zur nächsten hingegen ist jeweils ein Anstieg des Preissignals zu erwarten. Dies liegt daran, dass sich die Reduktionsanforderung der jeweils ersten Jahre der Phase down-Stufen immer weiter den in AnaFGas modellierten Substitutionspotenzialen annähern. So ergibt sich innerhalb beider Phase down-Szenarien jeweils eine Zickzack-Linie für den Zeitverlauf des Preissignals. Angesichts dessen, dass gemäß Revisionsvorschlag wie erwähnt die Mengenbeschränkungen aus dem Phase down jahresscharf erfüllt werden müssen, ist ein solcher Zickzack-Verlauf auch in der Realität plausibel.

Die beiden Phase down-Szenarien stellen zwei verschiedene Interpretationen der Baseline des Revisionsvorschlags dar. Im Vergleich beider Phase down-Szenarien (Abbildung 11) wird deutlich, dass dieser Interpretationsspielraum insbesondere für die Ergebnisse für die Jahre bis 2020 von Bedeutung ist. Während in Phase down-Szenario #1 mit der stringenten Interpretation der Baseline schon ab 2017 mit HFKW-Aufpreisen in der Größenordnung von 30-35 €/t CO_2-Äq. zu rechnen ist, bleibt

im Phase down-Szenario #2 mit der aufgeblähten Baseline das Preissignal bis 2020 schwach und steigt erst ab 2021 auf ca. 25 €/t CO_2-Äq. und ab 2024 auf ca. 30 €/t CO_2-Äq.

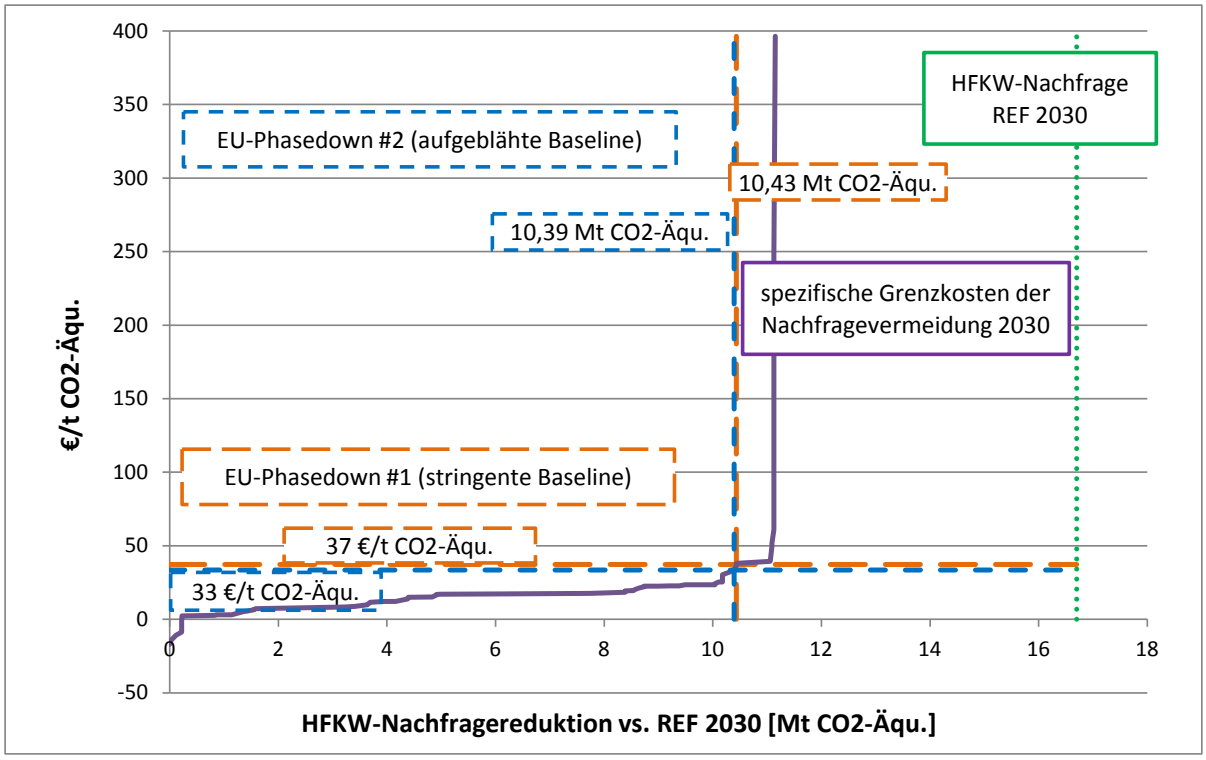


Abbildung 12: Preissignal 2030 aus dem EU Phase down

Im Jahr 2030, dem letzten bisher definierten Jahr des EU Phase down, haben sich die modellierten Preissignale auf 37 vs. 33 €/t CO_2-Äq. angenähert. In der Wirkung auf die Nachfragereduktion 2030 in Deutschland unterscheiden sich beide Interpretationen der Baseline angesichts der Form der für Deutschland modellierten Grenzkostenkurve 2030 kaum noch: 10,43 MT CO_2-Äq. HFKW-Nachfrage-Reduktion in Szenario #1 stehen 10,39 MT CO_2-Äq. in Szenario #2 gegenüber (Abbildung 12).

Anders sieht dies im Jahr 2020 aus: Im Fall einer stringenten Baseline wäre ein EU-weiter HFKW-Aufpreis von ca. 28 €/t CO_2-Äq. zu erwarten, der in Deutschland eine Reduktion der HFKW-Nachfrage von ca. 6,5 MT CO_2-Äq. anregen würde. Im Fall der aufgeblähten Baseline hingegen wird ein EU-Preissignal von nur ca. 7 € und eine HFKW-Reduktion in Deutschland von weniger als 1 MT CO_2-Äq. berechnet (Abbildung 13).

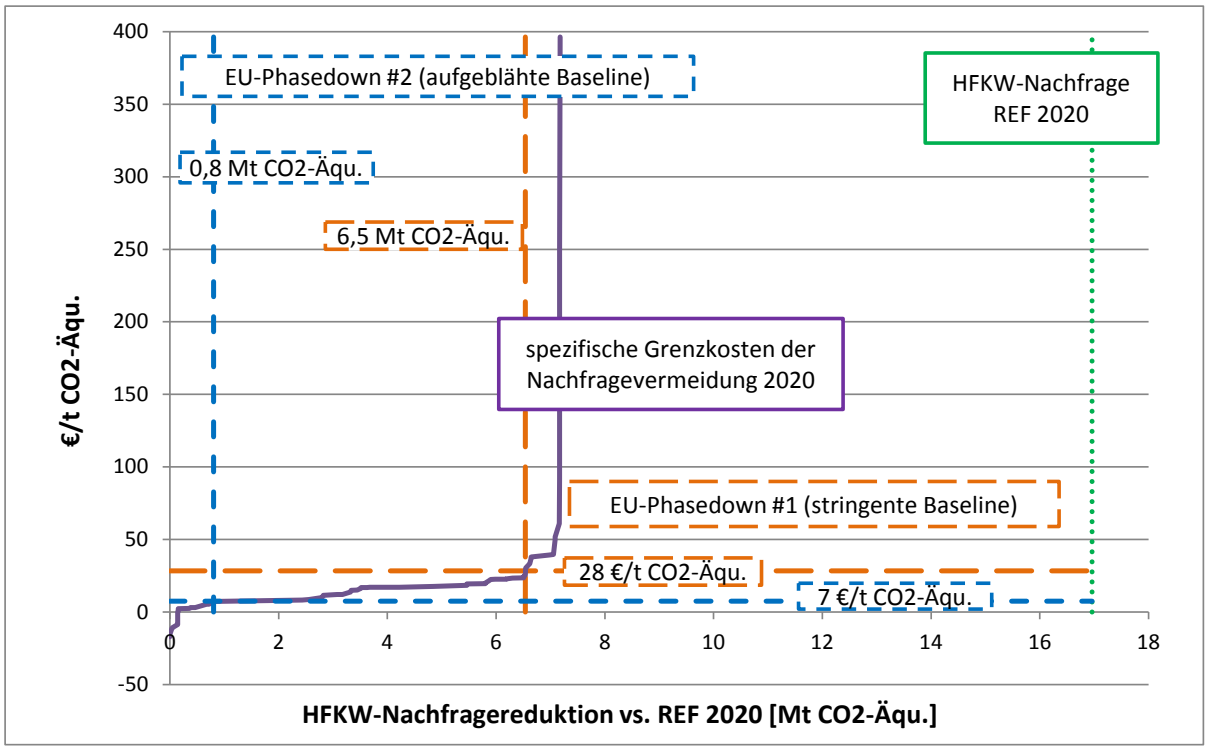


Abbildung 13: Preissignal 2020 aus dem EU Phase down

Die Bewertung des EU Phase down konzentriert sich im Folgenden auf den Zeithorizont bis 2030, in dem auch beide Szenarien zum Preissignal weitgehend konvergieren.

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 14; Abbildung 15; Abbildung 16) verdeutlichen einige zentrale Bewertungsparameter für den EU Phase down im Jahr 2030 in beiden Szenarien zur Interpretation der Baseline (Szenario #1: stringente Baseline mit Preissignal 2030: 37 €/t CO_2-Äq. sowie Szenario #2: aufgeblähte Baseline mit Preissignal 2030: 33 €/t CO_2-Äq.) im Vergleich zum Ausgangspunkt 2010 sowie dem Referenzszenario (REF) 2030 und dem Minimalszenario (MIN) 2030. Das Referenzszenario schreibt den rechtlichen Status-quo (im Wesentlichen definiert durch die EU-F-Gase-Verordnung, die europäische Automobilklimaanlagen-Richtlinie (MAC-Richtlinie) und die deutsche Chemikalien-Klimaschutzverordnung) fort. Im Minimalszenario wird die Umsetzung aller im Modell verfügbaren Alternativtechnologien angenommen, deren Kosten zur Emissionsvermeidung den Schwellenwert von 50 €/t CO_2-Äq. nicht überschreiten.

Eine Übersicht der berechneten Parameter findet sich im Anschluss in Tabelle 26.

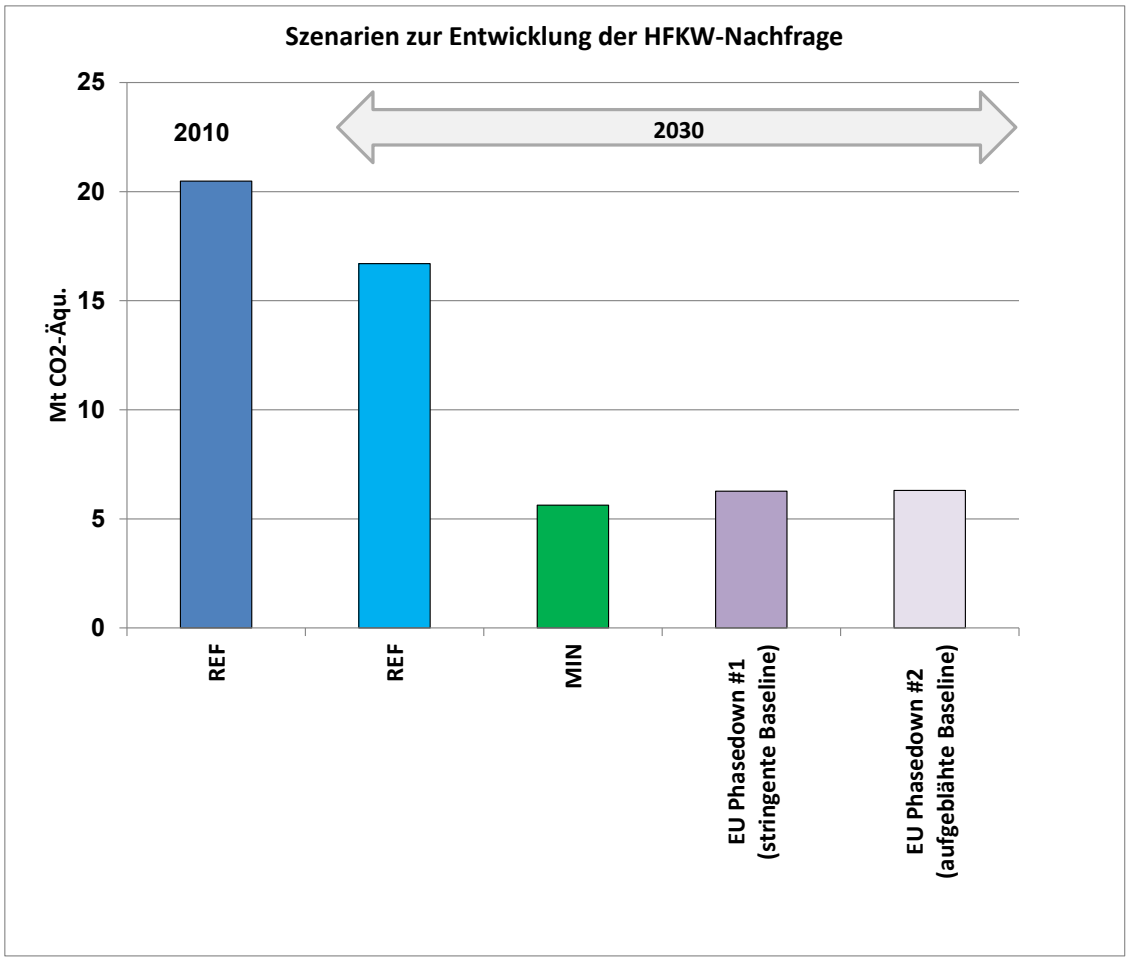


Abbildung 14: Szenariovergleich Nachfrage

Für den Parameter HFKW-Nachfrage (Abbildung 14) erreichen beide Phase down-Szenarien fast identisch ca. 94 % des Potenzials des MIN-Szenarios (berechnet als Minderung gegenüber REF 2030).

Für den Parameter Emissionen (Abbildung 15) sind die entsprechenden Prozentsätze mit 93 % fast identisch. Dies belegt, dass nach unseren Modellrechnungen die Minderungsanforderungen des Phase down-Stufenplans in 2030 nahe am Minderungspotenzial liegen.

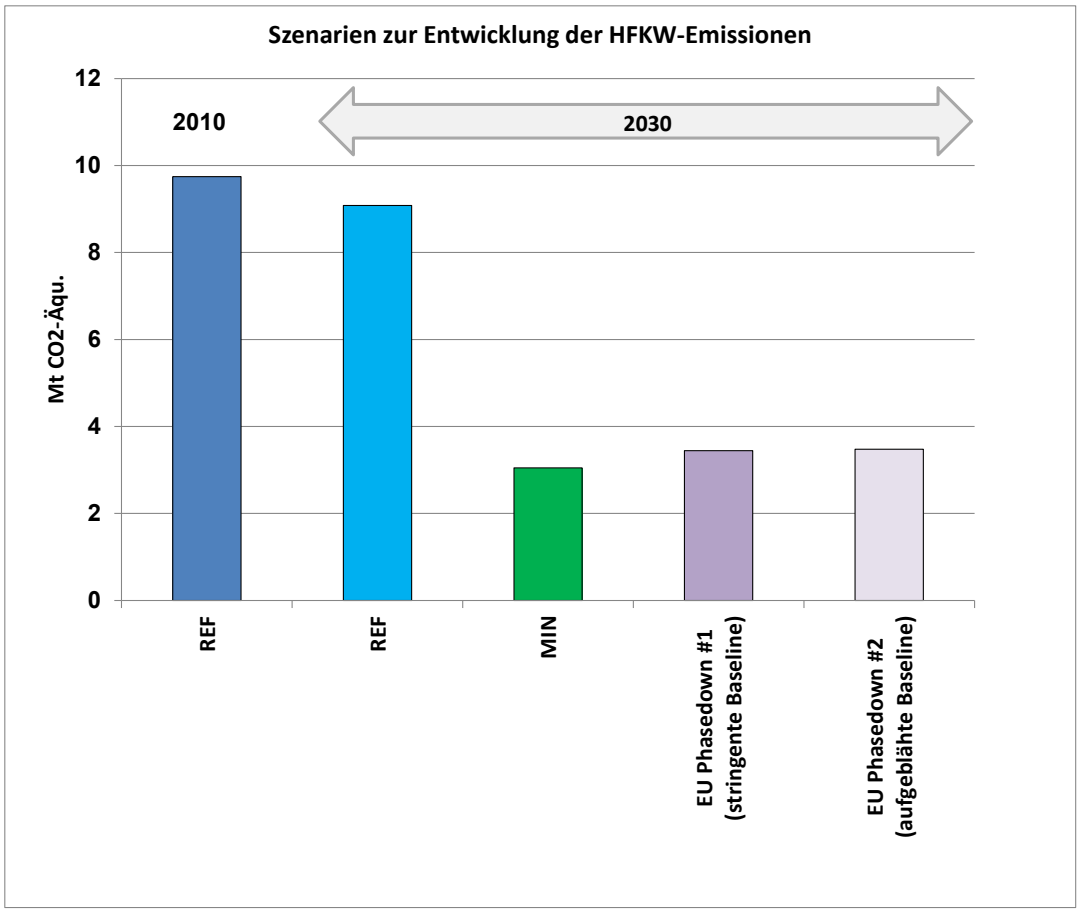


Abbildung 15: Szenariovergleich Emissionen

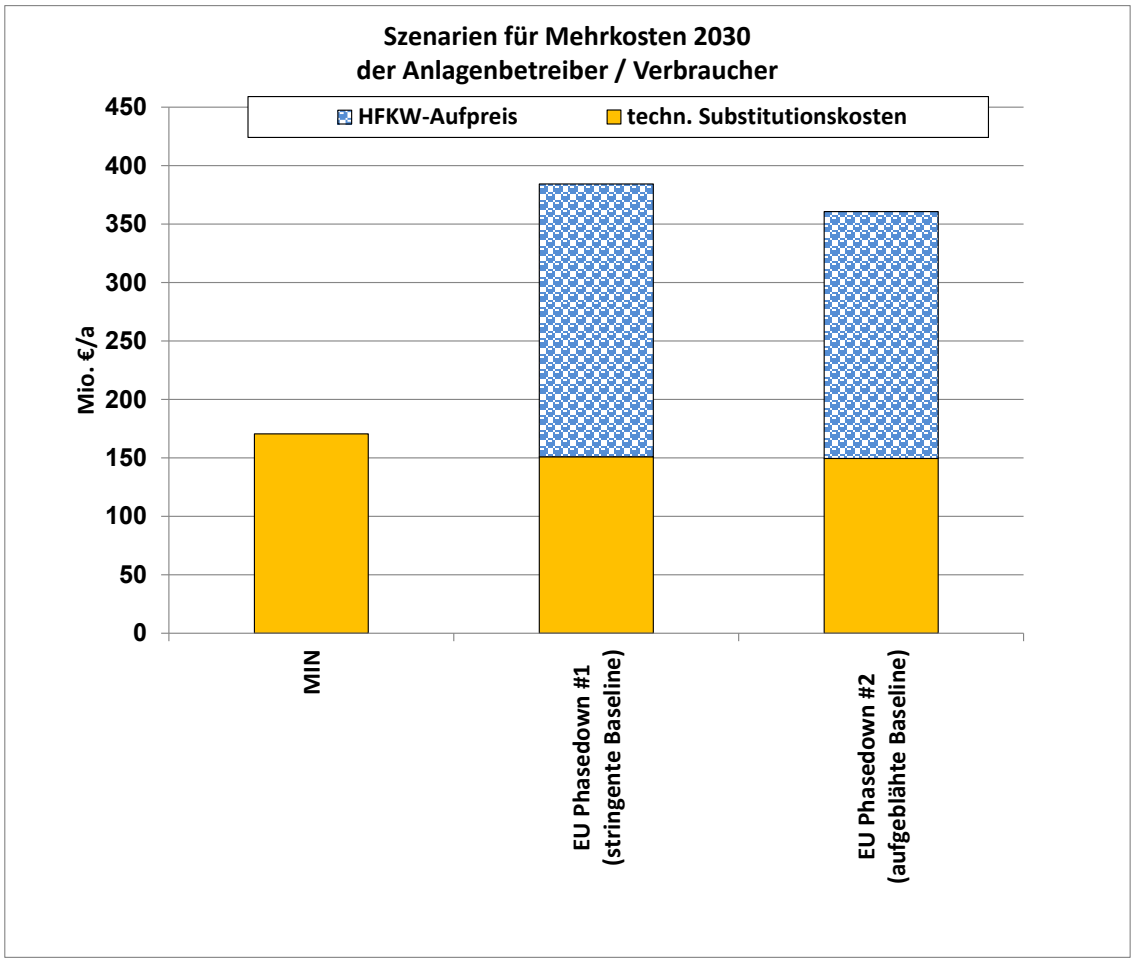


Abbildung 16: Szenariovergleich Kosten

Die von den Anlagenbetreibern bzw. Verbrauchern zu tragenden Kosten (Abbildung 16) setzen sich zusammen aus den technischen Substitutionskosten und dem HFKW-Aufpreis. Unter technischen Substitutionskosten werden die Kosten verstanden, die anfallen, wenn HFKW-freie Alternativtechnologien gewählt werden. In den Phase down-Szenarien fallen zudem für die verbleibende, nicht durch Alternativtechnologien substituierte HFKW-Nachfrage Mehrkosten wegen des HFKW-Aufpreises an. Letzterer ist aufgrund der Verknappung des HFKW-Angebots durch den Phase down zu erwarten. Die Zusatzkosten aufgrund des HFKW-Aufpreises übersteigen die technischen Substitutionskosten in der Summe deutlich[27], fallen aber in anderen Anwendungssektoren an.

Für den Parameter der technischen Substitutionskosten werden in den Phase down-Szenarien ca. 89 % (Szenario #1: stringente Baseline) bzw. 88 % (Szenario #2: aufgeblähte Baseline) des Benchmarks des MIN-Szenario errechnet. Das Verhältnis zwischen HFKW-Aufpreis und technischen Substitutionskosten innerhalb der Phase down-Szenarien beträgt ca. 1,5 (Szenario #1) bzw. 1,4 (Szenario #2).

[27] Dies liegt an dem relativ hohen Anteil von Restnachfrage, für die im Modell keine Alternativtechnologien angenommen wurden (vgl. die Kostenkurve, z.B. in Abb. 8).

Tabelle 26: Tabellarische Übersicht über Bewertungsparameter der Phase down-Szenarien

		REF	MIN	EU Phase down-Szenario #1 (stringente Baseline)	EU Phase down-Szenario #2 (aufgeblähte Baseline)
Nachfrage 2010	Mt CO2-Äqu.	20,5	20,5	20,5	20,5
Nachfrage 2030	Mt CO2-Äqu.	16,7	5,6	6,3	6,3
Nachfragereduktion 2010-2030	Mt CO2-Äqu.	-3,8	-14,9	-14,2	-14,2
	% REF 2014	-18%	-73%	-69%	-69%
	% MIN	25%	100%	96%	95%
Nachfragereduktion 2030 vs. REF	Mt CO2-Äqu.		-11,1	-10,4	-10,4
	% REF 2030		-66%	-62%	-62%
	% MIN		100%	94%	94%
		REF	**MIN**	**EU Phase down-Szenario #1 (stringente Baseline)**	**EU Phase down-Szenario #2 (aufgeblähte Baseline)**
Emissionen 2010	Mt CO2-Äqu.	9,7	9,7	9,7	9,7
Emissionen 2030	Mt CO2-Äqu.	9,1	3,0	3,4	3,5
Emissionsreduktion 2010-2030	Mt CO2-Äqu.	-0,7	-6,7	-6,3	-6,3
	% REF 2014	-7%	-69%	-65%	-64%
	% MIN	10%	100%	94%	94%
Emissionsreduktion 2030 vs. REF	Mt CO2-Äqu.		-6,0	-5,6	-5,6
	% REF 2030		-66%	-62%	-62%
	% MIN		100%	93%	93%
Kosten		**REF**	**MIN**	**EU Phase down-Szenario #1 (stringente Baseline)**	**EU Phase down-Szenario #2 (aufgeblähte Baseline)**
Nachfrage-vermeidungs-Grenzkosten 2030	€/t CO2-Äqu. (Nachfrage)		**50**	**37**	**33**
Substitutionskosten Betreiber vs. REF	Mio. €/a		170	151	150
	% MIN		100%	89%	88%
HFKW- Zertifikate/ Steuern 2030	Mio. €/a			233	211
Gesamtkosten Betreiber vs. REF	**Mio. €/a**			**384**	**361**
	% REF 2030			sektorale Ergebnisse	sektorale Ergebnisse

Die **Mehrkosten für die Verbraucher** werden gemäß Bewertungskonzept (Kapitel 3.3.1) spezifisch für die einzelnen Anwendungssektoren abgeschätzt und zwar über den prozentualen Anteil der Mehrkosten der Betreiber 2030 an den jeweiligen Systemkosten im REF-Szenario. Diese Mehrkosten werden in der folgenden Abbildungen (Abbildung 17 und Abbildung 18) für alle modellierten Sektoren visualisiert:

Abbildung 17 zeigt das komplette Bild, das durch die prozentual sehr hohen, absolut aber nahezu vernachlässigbaren Mehrkosten im Bereich der Lösemittelanwendung HFKW-43-10mee dominiert wird. Für diesen Anwendungsfall wurden im Modell aufgrund der geringen absoluten HFKW-Nachfrage[28] keine Alternativtechnologien recherchiert.

Abbildung 18 zeigt einen Ausschnitt für den Mehrkostenbereich bis 25%.

[28] Die Verwendung von HFKW-43-10-mee ist in Deutschland nur nach Beantragung einer Ausnahmegenehmigung vom Verwendungsverbot zulässig.

Generell spielt für den Parameter der Mehrkosten für die Verbraucher der Unterschied zwischen den beiden Szenarien der Interpretation des EU-Kommissionsvorschlags zu EU Mengenbeschränkungen kaum eine Rolle. Für die meisten der bisher untersuchten Anwendungssektoren liegen die Kostensteigerungen im niedrigen einstelligen Prozentbereich (Kälte/Klimaanwendungen in der linken Bildhälfte). Mit ca. 7 % ragen hier die Sektoren „Kühlfahrzeug Transporter“ und „Klima See-Güterschiff“ heraus. Dabei ist aber zu beachten, dass sich die Mehrkosten prozentual auf die annuisierten Kosten der jeweiligen Kälte-/Klimaanlage (als 100%) beziehen und nicht auf die Gesamtkosten des Fahrzeugs. Höhere Kostensteigerungen wären für Feuerlöschanwendungen (ca. 30 % bis 60 %) und Technische Aerosole (ca. 60 %) zu erwarten. Auch für Schaumanwendungen sind die modellierten Kostensteigerungen mit ca. 5 % bis 11 % (mehr als 50% für Montageschaum) im nennenswerten Bereich.

Eine weitergehende Diskussion von sektoralen Mehrkosten wird im Rahmen der Analyse von Steuerszenarien in Kapitel 4.3 geführt.

Der Parameter der **Arbeitsplatzeffekte** (Kapitel 3.3.1) wurde für den Phase down nicht modelliert. Für das Impact Assessment des EU-Revisionsvorschlages zur F-Gase-Verordnung waren 2012 EU-weit positive Beschäftigungseffekte bilanziert worden (veröffentlicht in EU-Kommission 2012). Es kann in erster Näherung davon ausgegangen werden, dass dies qualitativ auch für Deutschland gilt.

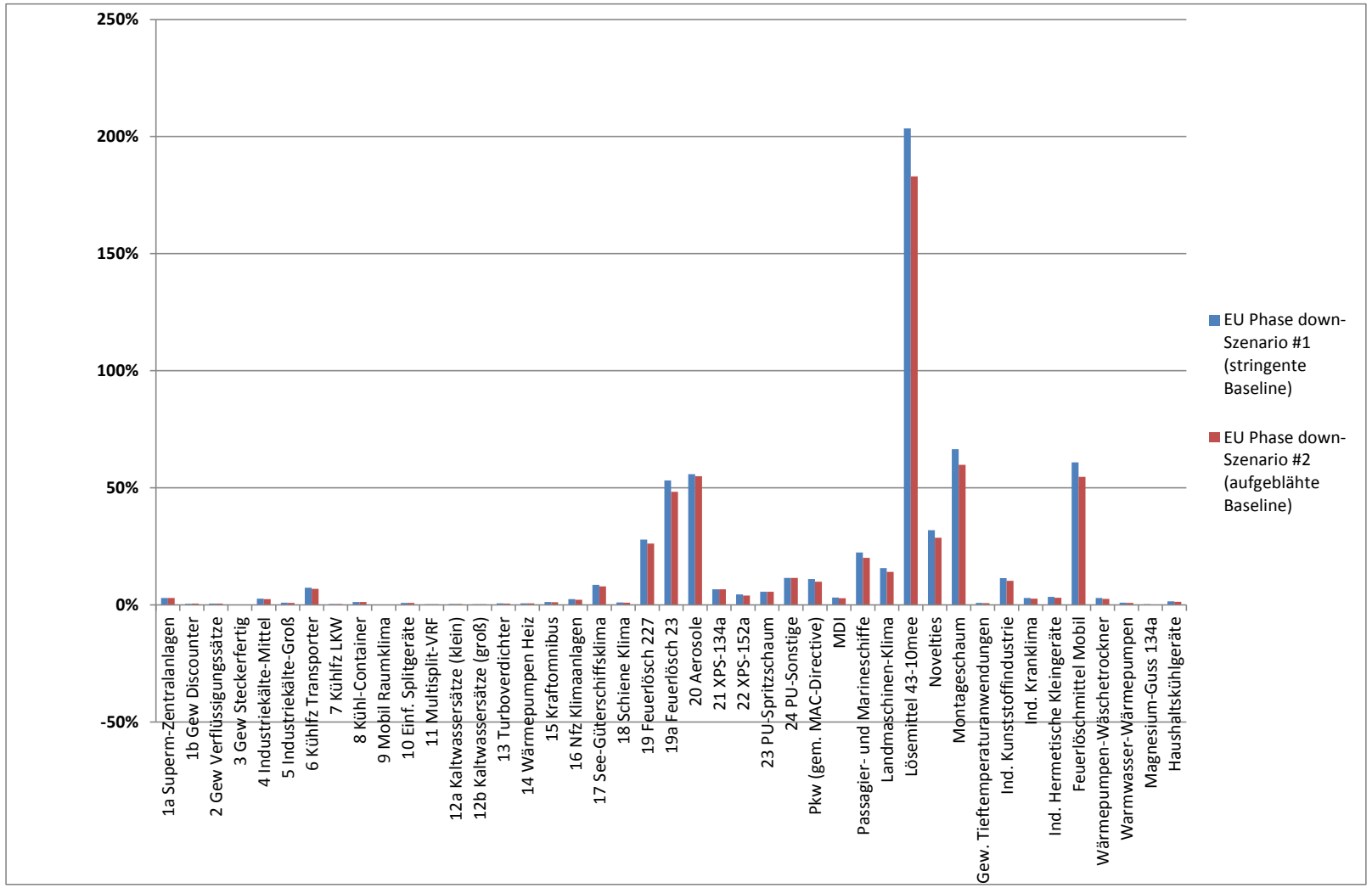


Abbildung 17: Belastung der Verbraucher durch den EU Phase down (prozentuale Mehrkosten).

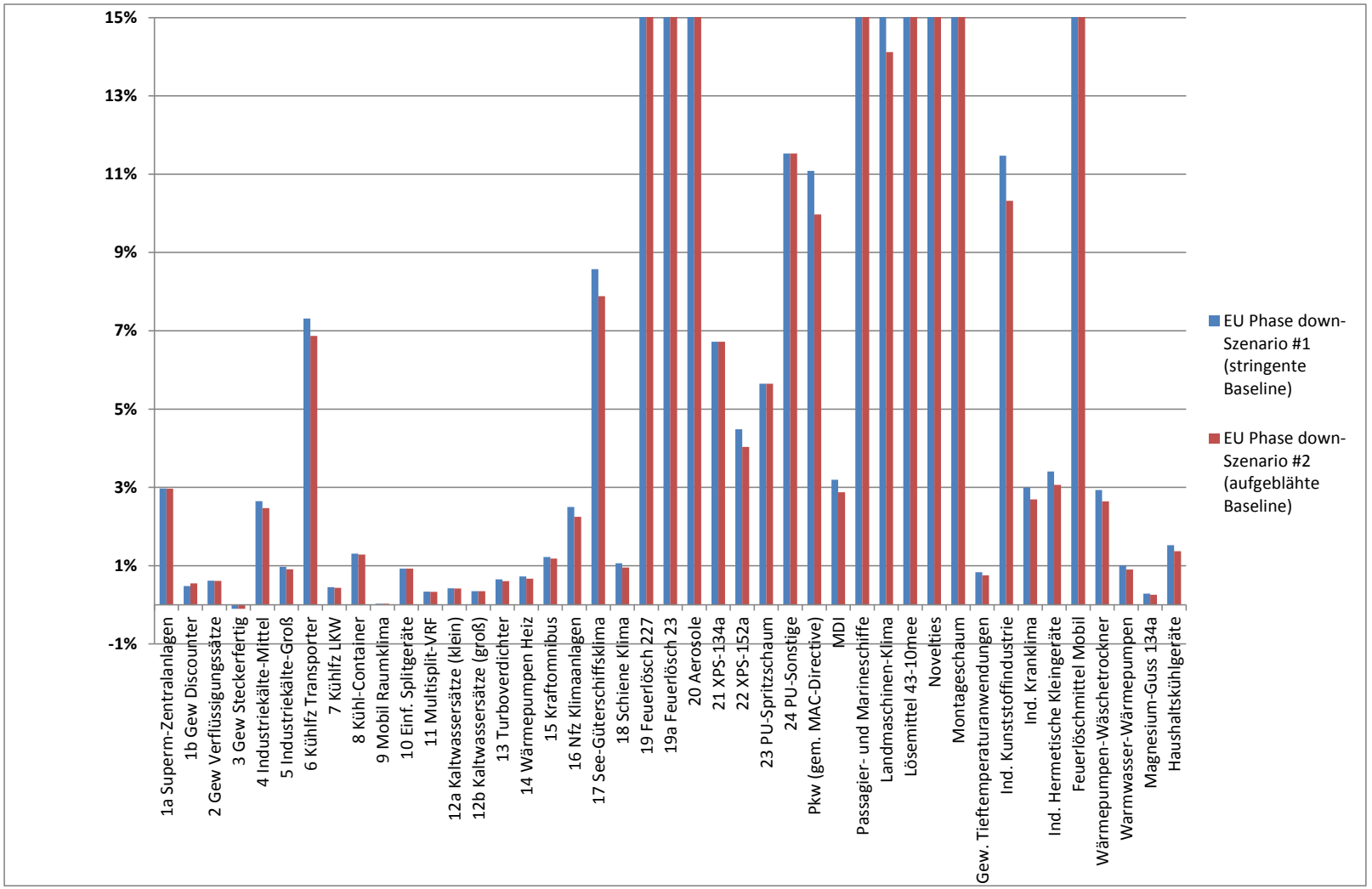


Abbildung 18: Belastung der Verbraucher durch den EU Phase down (prozentuale Mehrkosten) – Ausschnitt.

4.2.3 Grenzen der Annahmen

Die oben beschriebenen Entwicklungen der HFKW-Nachfrage wurden mit Hilfe eines Modells berechnet, das versucht, die künftig zu erwartende Situation abzubilden. Hierzu werden für eine Vielzahl von Parametern bestimmte Annahmen getroffen. Dabei handelt es sich um Einschätzungen, die getroffen werden, um die Auswirkungen von technischen Entwicklungen und/oder politischen Rahmenbedingungen zu quantifizieren, wobei die tatsächliche künftige Situation auch ganz anders sein könnte.

Unsicherheiten der getroffenen Annahmen im Modell resultieren aus den im Folgenden betrachteten Bereichen.

4.2.3.1 Unsicherheiten der politischen Vorgaben zur Implementierung von EU Maßnahmen

Die Definition des Referenzszenarios im Modell geht von der aktuellen Gesetzgebung aus.

Für Automobil-Klimaanlagen wird die europäische Richtlinie 2006/40/EG über Fahrzeugklimaanlagen (MAC Directive) zu Grunde gelegt, die seit 2011 eine Substitution des bisher verwendeten HFKW-134a in neuen Fahrzeugtypen von Pkw und kleinen Nutzfahrzeuge erforderlich macht. Ab 2017 ist in Klimaanlagen neuer Pkw und kleiner Nutzfahrzeuge nur noch Kältemittel entsprechend der Richtlinie 2006/40/EG mit GWP <150 statt HFKW-134a zulässig.

Die Implementierung der bisherigen F-Gase-Verordnung wird im Modell vorausgesetzt und durch verschiedene Annahmen, etwa zum Rückgang bestimmter Emissionsfaktoren infolge regelmäßiger Dichtheitskontrollen, abgebildet. Allerdings wurde bereits in der vorbereitenden Studie zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung im Jahr 2011 festgestellt, dass sich der Grad der Umsetzung in verschiedenen Ländern und Anwendungssektoren stark unterscheidet (Schwarz et al. 2011). Die getroffenen Annahmen zu einzelnen Parametern sind in Absprache mit Branchenexperten geschätzt worden und basieren nicht auf empirischen Auswertungen von anlagenbezogenen Daten. Daher ergeben sich systematische Unsicherheiten im Modell.

4.2.3.2 Unsicherheiten der Modellparameter

Wie unter 7.1.1 beschrieben, bildet das deutsche F-Gas-Modell 43 Anwendungssektoren von HFKW ab (wovon in dieser Studie 28 Sektoren auf Alternativen analysiert wurden) und basiert auf Kältemittelmodellen, die für die UNFCCC-Emissionsberichterstattung entwickelt wurden. Für künftige Jahre bis 2030 wurden Annahmen über die sektorale Entwicklung getroffen, die aus Branchenprognosen und Expertenschätzungen hergeleitet wurden. Vor allem für künftige Jahre ergeben sich systematische Unsicherheiten zahlreicher Parameter im Modell.

4.2.3.3 Unsicherheiten des Preissignals

Wie in Abschnitt 4.2.2.7 ausgeführt, sind die Details der Berechnung der Baseline im Vorschlag zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung unklar. Es ist nicht exakt definiert, ob für die Baseline von den produzierten und importierten Mengen die Exporte abgezogen werden oder nicht. Daher ergeben sich Spannen des Preissignals die in den beiden genannten Szenarien abgebildet werden.

Innerhalb beider Szenarien ergeben sich Unsicherheiten der Höhe des Preissignals aus den in Kapitel 4.2.3.2 beschriebenen Unsicherheiten der Modellparameter, hier für das EU-weite AnaFgas-Modell.

4.2.3.4 Unsicherheiten der Reaktion der Marktteilnehmer in Deutschland

In den Szenarien für die künftige Entwicklung der Nachfrage wird von rationalen Entscheidungen der Nachfrager und Anwender von HFKW ausgegangen. Angenommen wird etwa, dass sich die Marktteilnehmer bei Anschaffung einer Neuanlage für eine Alternativtechnologie entscheiden, sofern die Marktverfügbarkeit von Alternativtechnologien zu vergleichbaren Preisen wie die Referenztechnologie zum entsprechenden Zeitpunkt gegeben ist. Die Entscheidung für konventionelle HFKW-Technologien bei Neuanlagen ist im Modell nicht mehr vorgesehen, wenn vollständige Marktdurchdringung der Alternativtechnologien in einem bestimmten Jahr gegeben ist.

Aufgrund dieser Einschätzungen des vernunftbasierten Nachfrageverhaltens deutscher HFKW-Anwender ergeben sich Unsicherheiten im Modell, da der einzelne Anwender auch durch psychologische und/oder gesellschaftliche Aspekte in seiner Nachfrageentscheidung beeinflusst sein kann.

4.3 Nationale HFKW-Steuer als eigenständige Maßnahme oder flankierendes Instrument zum EU Phase down

4.3.1 Einleitung

Die EU-Kommission unterstützt die zunehmende Verwendung von marktbasierten Instrumenten um ökologische und andere Politikziele auf europäischer und nationaler Ebene zu erreichen.[29] Typen marktbasierter Instrumente sind beispielsweise

- Steuern,
- Gebühren,
- Pfandsysteme,
- staatliche Subventionen,
- handelbare Emissionsrechte/ Verschmutzungsrechte.

Dieser Abschnitt behandelt Steuern auf fluorierte Treibhausgase (F-Gase). Hierzu zählen teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF_6). Der besondere Fokus liegt dabei auf HFKW-Steuern (s.4.3.5.1.5) und ihre mögliche Ausgestaltung und Wirkungsmechanismen als eigenständige Maßnahme oder als Komplementärinstrument.

Generell sind **Steuern** öffentlich-rechtliche Abgaben, denen keine spezifische staatliche Leistung gegenübersteht und die nicht zweckgebunden eingesetzt werden müssen. Zur Deckung des allgemeinen Finanzbedarfs müssen sie von allen bezahlt werden, die steuerpflichtig sind. Für eine Steuer gibt es verschiedene Bemessungsgrundlagen. Sie kann auf Einkommen, auf Konsum (Güterverbrauch oder -gebrauch) und auf Vermögen (Kapital) erhoben werden. Steuern, die sich auf den Verbrauch oder Gebrauch von gehandelter oder produzierte Waren bzw.

[29] EU-Kommission 2007: Green Paper on market-based instruments for environment and related policy purposes. COM(2007)140final.

Dienstleistungen beziehen sind im Bereich der Gütersteuern als *Verbrauchssteuern* zu betrachten.[30]

Steuern können als Mengensteuer (d.h. pro Mengeneinheit, z.B. Stück, Liter, Kilowattstunde, Kilogramm*)* oder als Wertsteuer (d.h. *wertbezogen*, als bestimmter Prozentsatz des Preises oder Wertes einer Gutes oder einer Transaktion – ad-valorem) festgesetzt werden. Der Vorteil von Wertsteuern ist, dass sie mit der Inflationsrate mitwachsen und nicht real an Wert verlieren, wie im Fall der Mengensteuer. Um die Inflationsrate auszugleichen, sind bei Mengensteuern regelmäßig Steuererhöhungen notwendig.

Umweltsteuern werden mit dem Ziel erhoben, umweltschädliche Aktivitäten durch die Besteuerung zu verringern und umweltfreundliche Aktivitäten ökonomisch zu fördern. Unternehmen und Haushalte werden über einen höheren Preis dazu angehalten, die Umweltkosten der betreffenden Produkte in ihre Produktions- und Kaufentscheidungen einzubeziehen. Darüber hinaus werden die Unternehmen motiviert, umweltfreundlichere Technologien zu entwickeln und zu verbreiten. In Deutschland zählen zu den Umweltsteuern[31] bislang die Energiesteuer (früher Mineralölsteuer) und die 1999 eingeführte Stromsteuer. Zusammen werden beide oft als die *Ökosteuer* bezeichnet.

Umweltsteuern zählen zu den Verbrauchssteuern und sind sogenannte indirekte Steuern, da sie in der Regel nicht direkt beim Verbraucher, sondern beim Hersteller oder beim Handel erhoben wird. Die Mineralölsteuer ist beispielsweise bereits im Benzinpreis an der Tankstelle enthalten und muss nicht erst gezahlt werden, wenn die Fahrleistung erbracht wird. Ähnlich ist es bei der Stromsteuer, die beim Stromverkäufer, also den Stromversorgungsunternehmen erhoben wird und anschließend auf den Kunden überwälzt wird.

Als F-Gas- bzw. HFKW-Steuer wird hier allgemein ein Aufschlag auf den Preis für diese fluorierten Treibhausgase verstanden, der es erlaubt, die Umweltauswirkungen dieser Substanzen stärker in die Kalkulation der Verbraucher einfließen zu lassen und so eine verhaltenssteuernde Wirkung auszuüben, gleichzeitig aber auch neue Einnahmequellen für öffentliche Aufgaben erschließt. Die Erhebung von Steuern auf den Verbrauch von F-Gasen/ HFKW wurde in mehreren aktuellen Studien als Maßnahme zur Emissionsminderung betrachtet[32].

Eine solche Steuer kann, wie in einigen Ländern der Fall, als eigenständige nationale Maßnahme zur Verringerung der Nachfrage nach HFKW bzw. fluorierten Treibhausgasen konzipiert und implementiert sein. Erfahrungen aus mehreren

---

[30] Ein anderes Beispiel für eine Gütersteuer ist die Umsatzsteuer.

[31] Auch die Kraftfahrzeugsteuer fällt laut statistischem Bundesamt unter die umweltbezogenen Steuern.

[32] Zum Beispiel:

ICF International 2010: Identifying and Assessing Policy Options for Promoting the Recovery and Destruction of Ozone Depleting Substances (ODS) and Certain Fluorinated Greenhouse Gases (F-Gases) Banked in Products and Equipment; Final Report, im Auftrag der EU-Kommission, S.57.

Schwarz et al. 2011: Preparatory study for a review of the F-gas Regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases, Final Report, im Auftrag der EU-Kommission, S.276 ff.

SKM Enviros 2012: Further Assessment of Policy Options for the Management and Destruction of Banks of ODS and F-gases in the EU; Final Report, im Auftrag der EU-Kommission, z.B. S.79ff.

Kauffeld, M. 2012: Availability of Low GWP alternatives to HFCs. Feasibility of an early phase-out for HFCs by 2020. Report, für die Environmental Investigation Agency, S. 48 ff.

europäischen und außereuropäischen Ländern liegen hierzu vor und sind Abschnitt 4.3.2 aufgeführt. Eine eigenständige nationale Steuer für Deutschland wird in Abschnitt 4.3.5 erörtert.

Darüber hinaus ist auch der Zusammenhang mit den vorgeschlagenen Mengenbeschränkungen für HFKW in Europa (HFKW-Phase down) zu betrachten. Aus den Ergebnissen der Bewertung des HFKW-Phase down ergibt sich, dass eine Steuer als zusätzliche Maßnahme kaum weitere Potenziale zur Verringerung von HFKW-Nachfrage und Emissionen im Jahr 2030 erschließen wird. Die vorgeschlagenen Reduktionsstufen für HFKW-Mengen decken das technische Potenzial zur Reduzierung der Verbrauchsmengen in Deutschland bereits weitgehend ab.

Allerdings können Steuern als Informations- und Lenkungsinstrument dienen, wenn Anwender von HFKW zur Umstellung auf Alternativtechnologien motiviert werden sollen. Vor allem in den ersten Jahren des Reduktionsschemas für EU-weite Mengenbeschränkungen könnte eine Steuer die Entwicklung des Marktes hin zu Alternativen mit geringerem Treibhauspotenzial befördern. Im Abschnitt 4.3.6 wird die Betrachtung einer Steuer im Kontext des EU HFKW-Phase down ausgeführt. In Abschnitt 4.3.7 wird das Zusammenwirken einer F-Gas-Steuer flankierend mit weiteren Instrumenten beleuchtet.

4.3.2 Erfahrungen mit Steuern auf fluorierte Treibhausgase in anderen Ländern

F-Gase bzw. HFKW werden in verschiedenen Ländern bereits besteuert, nämlich in Dänemark (in Verbindung mit Verboten seit 2001), Slowenien (Steuer seit 2009; derzeit Revision), Norwegen (seit 2003) sowie Australien (2012). In Spanien wurde eine Steuer auf F-Gase zum 01. Januar 2014 eingeführt. Die Eckdaten der Steuersysteme und Erfahrungen aus diesen Ländern werden im Folgenden zusammengefasst[33].

4.3.2.1 Dänemark

Die dänische F-Gas-Steuer wurde nach dem Vorbild der bereits seit 1989 bestehenden FCKW-Halon-Steuer im Jahr 2001 eingeführt[34]. Sie ist als Teil eines Maßnahmenpakets konzipiert, welches auch Verwendungsverbote beinhaltet, und steht im Zusammenhang mit der dänischen CO_2-Steuer. Daher kann die Lenkungswirkung der fiskalischen Maßnahme allein nicht abgeschätzt werden.

Der Steuersatz basiert auf einem durchschnittlichen dänischen CO_2-Steuersatz für potentielle Emissionen (t CO_2-Äq.) und liegt für F-Gase demnach bei 0,14 – 0,18 DKK/kg CO_2-Äq. Der Maximalsteuersatz für einzelne Substanzen beträgt derzeit 600 DKK/kg (81 €/kg CO_2 Äq.) und wird auf F-Gase mit sehr hohem GWP angewendet. Steuerpflichtig sind ca. 124 registrierte Unternehmen[35], ausschließlich Importeure von F-Gasen. Der Mechanismus sieht keine Steuererstattungen oder Rückzahlungen

[33] Daneben ist zu erwähnen, dass Erfahrungen aus den 1990er Jahren vorliegen, als im Kontext der internationalen Reduktionsverpflichtungen von Ozonschicht zerstörenden Substanzen (Montrealer Protokoll) in manchen Ländern die Vorläufersubstanzen der HFKW, nämlich FCKW (CFCs) und HFCKW (HCFCs) besteuert wurden (z.B. USA: http://yosemite1.epa.gov/EE/epa/eed.nsf/fa6512c6e51c4a208525766200639df2/86a2750ed83fe1d88525774200597f3a!OpenDocument).

[34] Gesetz Nr. 208 vom 22.März 2001.

[35] Pers. Mitteilung von Per Henrik Pedersen, DTI, 04.11.2010.

bei Abgabe von gebrauchten F-Gasen zur Wiederaufbereitung oder Zerstörung vor, da dies bereits durch ein Pfandsystem der Industrie abgedeckt ist (KMO-System, seit 1992[36]). In einer Wirkungsanalyse wurden vor Einführung der Steuer Vermeidungskosten von ca. 200 DKK/t CO_2–Äq. (27 €/t CO_2-Äq.) für alle F-Gase errechnet[37]. Eine Evaluierung oder Nachberechnung wurde bisher nicht durchgeführt[38].

Mit Einführung der Steuer und Verwendungsverbote wurde auch ein staatliches Programm zur Forschung und Entwicklung von halogenfreien Alternativen aufgelegt.

4.3.2.2 Slowenien

In Slowenien ist eine Umweltsteuer auf den Verbrauch fluorierter Treibhausgase zum Januar 2009 in Kraft getreten. Sie unterliegt wegen zahlreicher Probleme in der Implementierung aber bereits einer Revision[39].

Als Bemessungsgrundlage dienen Emissionseinheiten in kg CO_2 Äq. Der Steuersatz wird jährlich entsprechend der allgemeinen Wirtschaftslage festgesetzt und betrug 0,0125 €/kg CO_2-Äq. (also 12,50 €/t CO_2-Äq.) in den Jahren 2009, 2010 und 2011, wobei in einer Übergangsperiode bis einschließlich 2012 nicht der volle Steuersatz erhoben wurde. Der Steuersatz wurde stufenweise erhöht und betrug 2009 10%, 2010 20%, 2011 40% und 2012 80% des eigentlichen Steuersatzes. Unabhängig von diesem Übergangszeitraum werden entsprechend des geplanten Verwendungszwecks der fluorierten Treibhausgase unterschiedliche prozentuale Anteile des Steuersatzes erhoben:

- 5% für die F-Gase zur Produktion vorgefüllter Anlagen;
- 5% für die F-Gase zur Erstbefüllung stationärer Anlagen;
- 100% für Servicemengen.

Branchenexperten aus der Kältetechnik halten diese Unterteilung der Mengen entsprechend ihres Einsatzzwecks aber nicht für praktikabel, da diese Angaben kaum kontrolliert werden können und während der Inbetriebnahme und den ersten Laufzeitmonaten von stationären Kälteanlagen nicht immer eine klare Abgrenzung des Einsatzzwecks erfolgen kann.

4.3.2.3 Spanien

In Spanien wurde im Zuge von Sanierungsanstrengungen des Staatshaushalts im Sommer 2013 die Einführung einer F-Gas-Steuer ab Januar 2014 vorgeschlagen[40].

[36] Schwarz et al. 2011: Preparatory study for a review of the F-gas Regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases, Final Report, im Auftrag der EU-Kommission, S.52/53.
[37] Dänisches Umweltministerium 2009: Denmark's 5th National Communication on Climate Change under the UNFCCC and the Kyoto Protocol; S.150.
[38] Pers. Mitteilung von Mikkel Aaman Sorensen, dänisches Umweltministerium, 09.05.2012.
[39] Republik Slowenien 2008: Erweiterung des Gesetzes über Kohlendioxidemissionen (OJ RS 78/08) als Teil der Umweltsteuergesetzgebung.
[40] Gesetzentwurf: Boletín Oficial de las Cortes Generales (BOCG): No. 121/000054, Proyecto de Ley por la que se establecen determinadas medidas en materia de fiscalidad medioambiental y se adoptan otras mefifas tributarias y financieras; 03.07.2013.

Mittlerweile wurde das Gesetz verabschiedet und am 30.10.2013 im staatlichen Gesetzblatt veröffentlicht[41].

Die Steuer bezieht sich auf die der europäischen F-Gase-Verordnung unterliegenden Stoffe, wobei F-Gase mit GWP <150 ausgenommen sind (HFKW-41; HFKW-152a). Die Steuerhöhe wird berechnet, indem das Treibhauspotenzial des jeweiligen Stoffs (entsprechend dem 3. IPCC-Sachstandsbericht) mit einem Steuersatz von 0,02 multipliziert wird. Der Maximalsteuersatz beträgt 100 €/kg. Dadurch ergibt sich beispielsweise eine Steuerhöhe von 26 €/kg für HFKW-134a, von 11 €/kg für HFKW-32 und von 100 €/kg für SF_6 und alle FKW.

4.3.2.4 Norwegen

Die Besteuerung fluorierter Treibhausgase (HFKW, FKW; nicht SF_6) wurde in Norwegen 2003 eingeführt. Der ursprüngliche Basissatz betrug 183 NOK/t CO_2-Äq. (ca. 22 €/t CO_2-Äq.)Derzeit liegt der Satz bei knapp 25 €/t CO_2-Äq.[42] und wird jährlich geprüft, um die Inflation auszugleichen[43]. Sowohl Mengen in Gebinden (sog. „Bulkware“) als auch Mengen in Geräten werden besteuert. Der Gesamtertrag lag 2007 bei 222 Millionen NOK (ca. 29,3 Mio. €)[44], für 2010 wurden 210 Millionen NOK (ca. 25,7 Mio. €) geschätzt.

Seit 2004 erfolgen Steuerrückerstattungen in voller Höhe bei Abgabe von gebrauchten Kältemitteln zur Wiederaufbereitung oder Zerstörung. Das System zur Abgabe, Sammlung und Analyse von Gasen wurde ursprünglich für Ozonschicht zerstörende Substanzen von einem Privatunternehmen eingerichtet und dann auf HFKW und FKW erweitert. Diese Firma erhält zunächst die Steuererstattung für zur Zerstörung angelieferte Gase entsprechend der Analysen zur Gaskonzentration. Sie behält einen Anteil der Erstattungssumme zur Deckung der anfallenden Kosten ein und erstattet den Rest an die Unternehmen, die gebrauchte Kältemittel zur Zerstörung abgegeben hatten[45].

Seit Einführung der Steuer wird zwar weiterhin ein Anstieg der F-Gas Emissionen festgestellt, jedoch konnte der jährliche Zuwachs der Importe von F-Gasen verlangsamt werden. Gründe hierfür sind die Verringerung der Füllmenge pro Gerät und die zunehmende Verwendung von natürlichen Kältemitteln, vor allem in gewerblichen Kälte- und Klimaanlagen mittlerer Größe.[46]

---

[41] Boletín Oficial del Estado: Ley 16/2013, de 29 de octubre, por la que se establecen determinadas medidas en materia de fiscalidad medioambiental y se adoptan otras medidas tributarias y financieras.

http://www.congreso.es/constitucion/ficheros/leyes_espa/l_016_2013.pdf (07.11.2013)

[42] Directorate of Customs and Excise 2012: Excise duty on hydrofluorocarbons (HFCs) and perfluorocarbons (PFCs), Circular No. 7/2012, S.4; http://www.toll.no/upload/aarsrundskriv/Engelske/HFC-PFC.pdf (14.05.2012).

[43] Pers. Mitteilung von Alice Gaustad, Head of Section for Climate and Energy, Climate and Pollution Agency, Oslo, Norwegen, vom 29.08.2012.

[44] Eli Marie Naess & Tone Smith 2009: Statistics Norway, Department of Economic Statistics, Environmental Statistics – Environmentally relates taxes in Norway: Totals and divided by industry, S.8.

[45] Pers. Mitteilung von Alice Gaustad, Head of Section for Climate and Energy, Climate and Pollution Agency, Oslo, Norwegen, vom 29.08.2012.

[46] Katherine Loe Hansen 2008: Statistics Norway, Department of Economic Statistics, Environmental Statistics – Emissions from consumption of HFCs, PFCs and SF_6 in Norway; S.3.

4.3.2.5 Australien

Die australische Regierung hat 2011 beschlossen auf Herstellung und Import fluorierter Treibhausgase besondere Abgaben entsprechend der Klimawirksamkeit dieser Gase zu erheben („carbon equivalent levy"). Die Regelung trat gleichzeitig mit einem nationalen Emissionshandelsschema für andere Treibhausgase zum Juli 2012 in Kraft[47]. Seitdem und noch bis Juli 2013 liegt der Basissatz bei 23 AUD/t CO_2 Äq. (ca. 18,07 €/t CO_2 Äq.), für 2013/2014 bei 24,10 AUD/t CO_2 Äq. (ca. 18,93 €/t CO_2 Äq) und für 2014/2015: 25,40 AUD/t CO_2 Äq. (ca. 19,95 €/t CO_2 Äq.).[48] Nach 2015 soll sich der Satz am CO_2-Preis des nationalen Emissionshandelsschemas orientieren.

Unternehmen müssen neben der CO_2-Abgabe weiterhin auch die bereits implementierte vorgezogene Entsorgungsgebühr („recovery levy") gemäß *Ozone Protection and Synthetic Greenhouse Gas Management Act 1989* in Höhe von 165 AUD/t F-Gas (ca. 123,33 €/t) bezahlen[49]. Diese Gebühr wird pauschal erhoben und orientiert sich nicht am GWP der einzelnen Substanzen.

Nach Einschätzungen von Branchenexperten aus der Kältetechnik hatte der australische Markt seit Einführung der Steuer nur sehr zögerlich auf die Möglichkeiten reagiert, die sich durch die Klima-Abgabe auf Kältemittel ergeben. Dies hing vermutlich damit zusammen, dass viele Marktteilnehmer mit der Abschaffung der Abgabe durch die im September 2013 neu gewählte Regierung rechneten. Tatsächlich wurde bereits Mitte Oktober 2013 ein Gesetzentwurf zur Abschaffung der F-Gas-Abgabe vorgelegt („Carbon Tax Repeal Bill"). Die Frist zur öffentlichen Stellungnahme ist seit 04.11.2013 beendet und seit 14.11.2013 wird über den neuen Gesetzentwurf im Umweltausschuss beraten[50].

4.3.3 Allgemeine Reaktionen des Marktes und Erfahrungen

Auf Basis der bisherigen Erfahrungen in mehreren Ländern sind konkrete Reaktionen bzw. Verhaltensänderungen und technische Weiterentwicklungen auf die Besteuerung zu erwarten, die aber kaum quantifiziert werden können und daher hier qualitativ genannt werden:

- Sorgfältigerer Umgang mit besteuerten Substanzen vor allem in der Kälte- und Klimatechnik bei Installation, Reparatur, Wartung und Demontage von existierenden Anlagen und Systemen und Recycling von Kältemittelmengen vor Ort, um die Verwendung von Kältemittel-Frischware zu verringern; dadurch Verringerung der Bestands- und Entsorgungsemissionen.
- In Australien führte die Abwanderung von unterschiedlichen Produktionseinrichtungen nach Asien in den letzten Jahren in der Klima- und Kältetechnik zu einer Konzentration auf Wartung und Service bestehender Systeme (After-Sales-Markt). Daher sind von der Abgabe Wartungsfirmen und Handwerksbetriebe betroffen, die Preissteigerungen an den Endkunden weitergeben. Private Anlagenbetreiber und

[47] 2011: Clean Energy Future Package

[48] Patrick Mc Inerney, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities, australische Regierung 2011: Application of a carbon equivalent price for synthetic greenhouse gases; Präsentation 17.08.2011, Sydney.

[49] Australische Regierung, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities 2012: Calculating the equivalent carbon price on synthetic greenhouse gases; http://www.environment.gov.au/cleanenergyfuture/carbon-price/publications/pubs/fs-calculating-carbon-price.pdf.

50 http://www.environment.gov.au/carbon-tax-repeal/ (14.11.13)

Kleingewerbe versuchen, die Wartungszyklen für bestehende Anlagen zu verzögern, um die Besteuerung kurzfristig auszugleichen[51] (derzeit keine Wartungsfristen für private Betreiber gesetzlich geregelt).

- Bei der Entwicklung neuer Anlagen und Systeme: Fokus auf Dichtheit der Komponenten und Anlagen, Verringerung der Füllmengen und zunehmende Verwendung von F-Gasen oder Mischungen (Blends) mit niedrigem Treibhauspotenzial (Dänemark, Norwegen, Australien).
- Zunehmende Verbreitung von Anlagen und Systemen mit nicht steuerpflichtigen Alternativen (Dänemark[52], Norwegen, Australien[53], z.T. Slowenien). Bei Einführung der Steuer/ Abgabe wurden in Australien starke Sicherheitsbedenken geäußert, da manche Kältemittel in dafür ungeeigneten Geräten eingesetzt werden könnten[54]. Gemäß den Mitteilungen der Fachpresse haben sich diese Bedenken aber bisher nicht bestätigt.
- (Weiter-)Entwicklung von HFKW-Mischungen mit geringerem Anteil an HFKW, vor allem ungesättigte HFKW mit niedrigerem GWP, durch die global tätigen Hersteller von F-Gasen[55].
- Bei Kopplung der Besteuerung mit Erstattungen/ Prämien für die Rückführung von HFKW zu Wiederaufbereitung und Zerstörung kann mit steigender Rückgabe von F-Gasen gerechnet werden (auch evtl. nicht besteuerter Altbestände oder Mengen aus dem Ausland (Norwegen)). Dies führt auch zur Verringerung der (u.U. illegalen) Entsorgungsemissionen.

4.3.4 Planungen und Studien für F-Gas Steuern in anderen Ländern

Neben den beschriebenen Erfahrungen aus den Ländern, in denen bereits eine F-Gas/HFKW-Steuer implementiert wurde, stehen Studien und Planungen aus einigen anderen Ländern zur Verfügung. Diese werden im Folgenden kurz genannt.

Schweden: Der schwedische Vorschlag für eine HFKW-Steuer basiert auf einer detaillierten Studie aus dem Jahr 2009, die eine HFKW-Steuer als „das geeignetste Lenkungsinstrument zur kurzfristigen Verringerung der Emissionen“ empfiehlt. Eine solche Steuer sei besonders kosteneffektiv und auf leichte Weise administrativ umzusetzen.[56]

Das Konzept sieht vor, die Steuer nicht für alle fluorierten Treibhausgase, sondern nur für HFKW zu erheben, da aufgrund europäischer Maßnahmen mit einem baldigen

---

51 Pers. Mitt. Dominik Puchert, Product Sales Manager, Firma Parker, Hannifin, Australien, vom 02.05.2013.

52 Danish Ministry of the Environment/ Environmental Protection Agency 2011: Going Natural – The Danish road to natural refrigerants.

53 Michael McCann, Thinkwell Australia: Working gases, technology and tax – the future of coolth. Präsentation im Rahmen einer Seminarreihe des Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating (AIRAH), Sommer 2012. (http://www.airah.org.au/imis15_prod/Content_Files/UsefulDocuments/The%20effect%20of%20the%20carbon%20equivalent%20levy%20on%20refrigerant%20price%20and%20usage.pdf)

54 Siehe Pressemeldung vom November 2012: Wilson, L. & Kelly, J.: Refrigerant substitution puts lives at risk (http://www.theaustralian.com.au/national-affairs/climate/refrigerant-substitution-puts-lives-at-risk/story-e6frg6xf-1226510195974).

55 Hier sind etwa die neuen Kältemittel-Mischungen der Produktreihe Solstice von Honeywell (z. B. „Solstice N40“ und „Solstice L40“) und der Produktreihe Opteon von DuPont (z.B. Opteon „DR-3“, „DR-5“, „DR-7“, „DR-33“ etc.) zu nennen.

56 Statens Offentliga Utredningar (2009): Skatt Pa fluorerade växthusgaser, S.66. http://www.regeringen.se/content/1/c6/12/89/80/c7d0b072.pdf (03.05.2012).

Rückgang der Emissionen von FKW und SF_6 gerechnet wird (z.T. Einbindung der FKW-Emissionen aus der Aluminiumindustrie in das EU-ETS) und eine Steuer für diese Stoffgruppen daher nicht mehr angebracht erscheint. Es wird ein einheitlicher Steuersatz in SEK/ kg CO_2-Äq. angestrebt, der sich an der existierenden CO_2-Steuer von 0,22 SEK/ kg CO_2-Äq. orientiert. Die zu erwartende Steuerhöhe für einzelne HFKW-Typen wird mittels deren GWP errechnet und lässt deutliche Preissteigerungen für alle gängigen Kältemittel erwarten.

Der Gesetzentwurf wird derzeit von der Finanzbehörde geprüft, mit einer Entscheidung wird jedoch nicht vor der Revision der EU F-Gase-Verordnung gerechnet[57].

Polen: Ein bereits existierendes Instrument in Polen ist eine Emissionsgebühr im Rahmen der Umweltgesetzgebung, die für zahlreiche Substanzen erhoben wird, und deren Höhe auf Schätzungen durch die Anlagenbetreiber beruht. Für HFKW und FKW beträgt diese Abgabe ca. 6,50 €/kg, für HFCKW ca. 13 €/kg und für FCKW ca. 42 €/kg[58]. Diese Werte beziehen sich auf Substanzmengen, unabhängig von deren GWP.

Ein neues ökonomisches Instrument zur Verringerung der F-Gas Emissionen in Polen wird derzeit geprüft. Es handelt sich um eine Gebühr für das Inverkehrbringen von F-Gasen in Polen (Gebinde und Mengen in vorgefüllten Geräten). Diese soll sich am GWP der einzelnen Substanzen orientieren und bei 0,003 PLN/ kg CO_2-Äq. liegen (3 PLN/ t CO_2-Äq.; ca. 0,7 €/t CO_2-Äq.)[59]. Sofern auf bestimmte Mengen schon in anderen EU-Ländern F-Gas Steuern oder Abgaben bezahlt wurden, soll für diese Mengen eine Gebührenbefreiung ermöglicht werden.

Schweiz: 2011 wurde durch das Bundesamt für Umwelt ein Auftrag für eine „Machbarkeitsstudie: Pfand in Verbindung mit einer vorgezogenen Entsorgungsgebühr auf synthetische Treibhausgase“ vergeben. Die Studie[60] kommt zu dem Schluss, dass die vorgezogene Entsorgungsgebühr und das Pfandsystem grundsätzlich anwendbar seien, aber große Unterschiede zwischen den Anwendungsbereichen berücksichtigt werden sollten, da der Stand der Technik nicht überall gleich fortgeschritten sei (BAFU 2012, S.83).

Es wird empfohlen, eine gestaffelte Einführung eines Abgabemodells vorzusehen, das „eine vorgezogene Entsorgungsgebühr auf Importe beinhaltet, welche die Anwendungsbereiche Industrie- und Gewerbekälte, stationäre Klimageräte, mobile Klimaanlagen und Transportkälte betrifft. Diese Bereiche sollten im Falle eines Defizits zusätzlich mit einer zweckgebundenen Steuer belastet werden. In Anwendungsbereichen, welche nicht einer Entsorgungsgebühr unterliegen (Aerosole, Halbleiterherstellung, Metallerzeugung), wird eine zweckgebundene Steuer erhoben, die zur Deckung eines Ausgabenüberhangs bei der Entsorgung verwendet wird“. Weiterhin wird vorgeschlagen, in den Anwendungen Industrie- und Gewerbekälte, mobile Klimaanlagen und stationäre Klimageräte zusätzlich ein Pfand zu erheben,

57 Persönliche Mitteilung von Maria Ujfalusi, schwedische Umweltbehörde, 03.05.2012.

58 Janusz Kozakiewicz 2011: Policy tools for assessing and diminishing F-gas emissions from equipment. Präsentation bei der Atmosphere-Tagung in Brüssel, 11.10.2011.

59 Persönliche Mitteilung von Janusz Kozakiewicz, Forschungsinstitut für Industrielle Chemie, 11.05.2012.

60 Bundesamt für Umwelt (BAFU): Machbarkeitsstudie- Schlussbericht: Pfand in Verbindung mit einer vorgezogenen Entsorgungsgebühr auf synthetische Treibhausgase. Erarbeitet durch CSD Ingenieure. Juli 2012 (unveröffentlicht).

„sollte die vorgezogene Entsorgungsgebühr und die zweckgebundene Steuer nicht die gewünschte indirekte Lenkungswirkung auf Leckageverluste und Rückgabevolumen synthetischer Treibhausgase haben“ (BAFU, 2012, S. 84).

Hinsichtlich der Höhe der Abgaben wird festgestellt, dass die definitive Festlegung der Abgabesätze für die vorgezogene Entsorgungsgebühr, das Pfand und die zweckgebundene Steuer eine Herausforderung des neuen Abgabe- und Pfandmodells darstellen wird. Anforderungen sind, dass einerseits die Entsorgungskosten gedeckt sein müssen, und dass andererseits die Entschädigungen für die Rückgabe von Gasen nicht zu gering ausfallen dürfen, um als finanzieller Anreiz wirken zu können.

Die Verwaltung eines solchen Abgabemodells soll durch eine neu zu schaffende private Organisation erfolgen, die mit bestehenden Branchenorganisationen zusammenarbeiten könnte.

Frankreich: Um hohe F-Gas Emissionen zu verringern, untersucht das französische Umweltministerium derzeit die Möglichkeiten zur Besteuerung von HFKW mit GWP ≥ 150. Ein Arbeitspapier wurde den betroffenen französischen Industrien und Verbänden im Dezember 2012 zur Verfügung gestellt und enthält mehrere Optionen für die Ausgestaltung einer Steuer[61], die sich nur auf HFKW-Kältemittel konzentriert (andere Anwendungen sind nicht betroffen).

Option 1: Einheitlicher Steuersatz in Höhe von 40 €/t CO_2-Äq. für alle Kältemittel mit GWP ≥150. Kältemittel mit GWP < 150 sind ausgenommen.

Option 2: Einheitlicher Steuersatz in Höhe von 20 €/t CO_2-Äq. für alle Kältemittel mit GWP ≥150. Kältemittel mit GWP < 150 sind ausgenommen.

Option 3: Einheitlicher Steuersatz in Höhe von 20 €/t CO_2-Äq. für alle Kältemittel mit GWP ≥750. Um den Übergang auf Kältemittel mit niedrigerem GWP anzuregen und die Marktdurchdringung von neuen Kältemittel-Mischungen erleichtern, werden reduzierte Steuersätze auf Stoffe mit GWP < 750 erhoben, nämlich 5 €/t CO_2-Äq. für Stoffe mit GWP 300 – 750 und 2,50 €/t CO_2-Äq. für Stoffe mit GWP 150-300. Kältemittel mit GWP ≥150 sind ausgenommen.

Option 4: Einheitlicher Steuersatz in Höhe von 60 €/t CO_2-Äq. für alle Kältemittel mit GWP ≥150. Kältemittel mit GWP <150 sind ausgenommen.

Eine Auswertung möglicher Auswirkungen des europäischen HFKW-Phase down oder anderer Maßnahmen aus dem Revisionsvorschlag vom November 2012 oder Februar 2013 ist in diesem Papier nicht beschrieben, die aktuelle europäische und nationale Gesetzgebung werden für den Vergleich herangezogen. Die betroffenen Industrien wurden aber zur Diskussion der Steuervorschläge im Zusammenhang mit europäischen Maßnahmen der Revision der F-Gase-Verordnung eingeladen, die Frist für Stellungnahmen endete im Januar 2013.

Eine Gesetzgebungsinitiative durch das französische Umweltministerium ist bislang nicht erfolgt.

[61] Ministère de l’Environnement: Modalités de la mise en oevre d’une tax sur les gaz à effet de serre fluorés utilisés en tant que fluides frigorigènes. Document de concertation. Dezember 2012.

4.3.5 Steuern auf fluorierte Gase als eigenständige nationale Maßnahme in Deutschland

4.3.5.1 Ausgestaltungsmöglichkeiten und Auswirkungen einer F-Gas/HFKW-Steuer

Im Folgenden werden Ausgestaltungsmerkmale eines Besteuerungssystems für F-Gase/HFKW[62] dargestellt, die als Kriterien für die spätere Erarbeitung des fiskalischen Instruments dienen können.

Zur konkreten Ausgestaltung einer möglichen F-Gas-Steuer in Deutschland ist nicht nur ein Blick auf existierende F-Gas-Steuersysteme und Erfahrungen in anderen Ländern sinnvoll. Auch ein Blick auf ähnliche gelagerte Steuern, die in Deutschland bereits erhoben werden, bietet eine Grundlage für die Konkretisierung der Ausgestaltung einer F-Gas-Steuer in Deutschland. Das besondere Kennzeichen der F-Gas-Steuer ist, dass sie vom Verbraucher getragen werden soll, aber aufgrund der Vielzahl der Verbraucher aus Effizienzgründen bei der deutlich geringeren Grundgesamtheit der Hersteller, Großhändler und/oder Importeure erhoben werden sollte.

Die gleiche Ausgangslage bietet sich auch bei der Energiesteuer, die in Nachfolge der Mineralölsteuer in Deutschland schon seit vielen Jahren implementiert ist.

Ein Vergleich der Eckpunkte der Energiesteuer mit einer möglichen Ausgestaltung der F-Gas-Steuer liegt daher nahe. Grundsätzlich zeichnet sich eine gute Übertragbarkeit der Ausgestaltung und institutionellen Verankerung der Energiesteuer auf eine mögliche Besteuerung von F-Gas-Gebinden (Bulkware) ab. Anhand dieses Beispiels werden nachfolgend einige Ausgestaltungsmerkmale erläutert. In Tabelle 27 werden die wesentlichen Punkte der Ausgestaltung der Energiesteuer aufgeführt und ihre Übertragbarkeit auf die F-Gas-Steuer dargelegt.

Tabelle 27: Ausgestaltung der deutschen Energiesteuer (nach Energiesteuergesetz 2006) und mögliche Übertragbarkeit der Ausgestaltungsmerkmale auf eine F-Gas-Steuer [63]

Ausgestaltungsmerkmal	Energiesteuer	Übertragbarkeit auf F-Gas-Steuer
Art der Steuer	Verbrauchssteuer	Verbrauchssteuer
Steuergegenstand	Heiz- und Kraftstoffe (ohne Exporte)	F-Gase in Gebinden („Bulkware“) vergleichbar mit Heiz- und Kraftstoffen. Mengen in vorgefüllten Geräte betreffen Endprodukte und sind daher nicht direkt vergleichbar (eher wie Kaffeesteuer nach Bestimmungslandprinzip) – inverkehrgebrachte Menge.
Steuerpflichtige	Steuerlagerinhaber (Hersteller, Großhändler)	Übertragbar auf Bulkware
Entstehung der Steuerpflicht	Entnahme aus Steuerlager in den freien Verkehr	Übertragbar auf Bulkware
Steuererhebung/-aufsicht	Hauptzollamt	Übertragbar
Verwaltung	Noch nicht versteuerte Ware:	Ein vergleichbares System könnte auch für F-

[62] In Kapitel 4.3.5.1.5, Seite 108, wird erläutert warum eine F-Gas-Steuer auf HFKW beschränkt werden sollte.

[63] Eine detailliertere Beschreibung der Energiesteuer befindet sich im Annex VII.2.

Ausgestaltungsmerkmal	Energiesteuer	Übertragbarkeit auf F-Gas-Steuer
	EDV-gestütztes Beförderungs- und Kontrollsystems für verbrauchsteuerpflichtige Waren (EMCS – Excise Movement and Control System)	Gas-Bulkware verwendet werden
	Selbstveranlagungssteuer, d.h. Verpflichtung des Steuerlagerinhabers zur Buchführung, Berechnung der Steuerhöhe, Steueranmeldung und Abführung beim Hauptzollamt	Übertragbar auf Bulkware
Ausnahmen	Steuerbefreiung für bestimmte Prozesse und Verfahren der Metall-, Glas- oder Keramikindustrie, bestimmte Energieerzeugnisse (Biogas, Kohle zur Stromerzeugung). Steuersenkung für Unternehmen des produzierenden Gewerbes inkl. Spitzenausgleich, gekoppelt an Effizienzverbesserungen u.ä.	Auf Basis der Erfahrungen anderer Länder und der spezifischen Wettbewerbssituation und Belastungsgrenze in Deutschland zu erwägen. Dies betrifft einerseits spezifische Anwendungssektoren, die von der Steuer ausgenommen werden könnten und andererseits die Auswahl der zu besteuernden F-Gase bzw. F-Gasgruppen: Zu entscheiden ist, ob die Steuer auf teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) fokussiert sein soll, oder auch FKW und/oder SF_6 einschließen soll.
Steuerverwendung	Bundeshaushalt Öko-Steuer: Senkung und Stabilisierung der Rentenversicherungsbeiträge	Bundeshaushalt Zweckgebundene Steuer/Abgabe rechtlich schwer durchsetzbar. Steueraufkommen eher gering zu erwarten
Komplementäre Maßnahmen	EU Emissionshandel, KWK Förderung, EEG, etc.	Verbote, andere Maßnahmen (bspw. Forschung, Information und Fördermaßnahmen)

Grundsätzlich sollte bei Überlegungen zur Einführung einer Steuer der Aufwand für Verwaltung und Kontrolle im Verhältnis zu den Einnahmen betrachtet werden. Bei einer Übertragung des Steuerlagermodells der Energiesteuer auf eine HFKW-Steuer kann mit Kosten für die Durchsetzung der Steuer in einer vergleichbaren Größenordnung gerechnet werden. Die zu erwartenden Größenordnungen von Einnahmen einer HFKW-Steuer werden in Kapitel 4.3.5.3 betrachtet.

4.3.5.1.1 Steuerpflichtige

Die Energiesteuer ist als Verbrauchsteuer darauf angelegt, den endgültigen Verbrauch von Energieerzeugnissen zu belasten. Steuerpflichtig ist gleichwohl nicht der Verbraucher, sondern ein Akteur der Lieferkette, bei dem die Steuer mit möglichst geringem bürokratischem Aufwand festgesetzt werden kann und der die Steuerlast über die Preisgestaltung auf den Verbraucher abwälzt. In gleicher Weise sollen bei einer F-Gas-Steuer zwar wirtschaftlich die mit der Nachfrage letztendlich entstehenden F-Gas Emissionen belastet werden, der zertifikatspflichtige Akteur aber gleichwohl so festgelegt werden, dass die Transaktions- bzw. Bürokratiekosten möglichst gering ausfallen. D. h., die F-Gas-Steuer ist aufgrund der Vielzahl der Verbraucher aus Effizienzgründen auf einer vorgelagerten Stufe der Wertschöpfungskette anzulegen. In diesem Fall bei der deutlich geringeren Grundgesamtheit der Hersteller, Großhändler und/oder Importeure von F-Gasen, die damit die Gruppe der Steuerpflichtigen darstellen. Ähnlich wie bei der Energiesteuer könnten sogenannte Steuerlager eingerichtet werden, in denen die Gase zunächst noch nicht steuerpflichtig sind (Steueraussetzung). Erst bei Entnahme aus diesen Steuerlagern entsteht dem Steuerpflichtigen die Steuerpflicht. Durch das Prinzip der Selbstveranlagung, d.h. der Verpflichtung des Steuerlagerinhabers zur Buchführung, Berechnung der Steuerhöhe, Steueranmeldung sowie Abführung der Steuer beim Hauptzollamt, könnte die Steuer verwaltet werden. Ähnlich wie bei der Energiesteuer könnten noch nicht versteuerte F-Gase durch ein EDV-gestütztes Beförderungs- und Kontrollsystems für verbrauchsteuerpflichtige Waren (EMCS – Excise Movement and Control System) erfasst und verfolgt werden.

4.3.5.1.2 Höhe der Steuer/ Steuersatz

Die Höhe des Steuersatzes muss einen wirksamen Anreiz für die Wahl von Alternativen mit geringerem oder keinem GWP darstellen. Eine Inflationsanpassung in regelmäßigen Abständen sollte erfolgen.

Die Festsetzung muss so langfristig erfolgen, dass keine Unsicherheiten bezüglich der Rentabilität der Investitionen zur Einführung alternativer Technologien entstehen[64]. Sie muss den Marktteilnehmern Flexibilität in der Implementierung und damit Spielraum zur Kostensenkung erlauben[65].

Als Bemessungsgrundlage eignen sich die potentiellen Emissionen fluorierter Treibhausgase in der Einheit t CO_2-Äq. Die potentiellen Emissionen eines bestimmten F-Gases errechnen sich durch Multiplikation der Menge (Produktion/ Import etc.) pro Jahr multipliziert mit dem Treibhauspotenzial (GWP). Die Besteuerung könnte prinzipiell gemäß GWP_{100} oder auch gemäß GWP_{20} erfolgen. Die GWP Werte nach 2., 3. oder 4. IPCC-Bericht weichen ebenfalls leicht voneinander ab. In der F-Gase-Verordnung werden die GWP_{100} des 3. IPCC-Sachstandsberichts verwendet. Im aktuellen Verordnungsvorschlag der EU-Kommission über fluorierte Treibhausgase

64 European Environment Agency 2011: Environmental tax reform in Europe: opportunities for eco-innovation, EEA Technical Report No. 17/2011; S. 6.

65 EU-Kommission 2007: Commission Staff Working Document accompanying the Green Paper on market-based instruments for environment and related policy purposes. SEC(2007)388.

werden hingegen die Werte des 4.IPCC-Berichts genutzt, welche auch ab 2015 für Treibhausgasberichterstattung im Rahmen der UNFCCC genutzt werden. Aus praktischen Gründen empfiehlt sich angesichts dessen die Wahl der GWP_{100} aus dem 4. IPCC-Bericht.

Die Einführung einer Maximalsteuer kann die extreme Besteuerung von fluorierten Treibhausgasen mit sehr hohem GWP (z.B. SF_6; GWP 22.800 gemäß 4. IPCC-Bericht) verhindern. Falls SF_6 nicht als Steuergegenstand definiert wird (s. Abschnitt zu Ausnahmen weiter unten) erübrigt sich diese Überlegung im Wesentlichen.

Im Rahmen dieses Vorhabens werden für die Bewertung von Effekten beispielhaft mehrere Szenarien für die Steuerhöhe angenommen: Es wurden Steuerhöhen von 20, 30 und 40 €/t CO_2-Äq. angenommen, weil damit einerseits die Größenordnung von F-Gas-Steuern in anderen Ländern aufgegriffen wird (vgl. Kapitel 4.3.2) und andererseits eine Bandbreite ökologisch anspruchsvoller Steuersätze illustriert wird.

4.3.5.1.3 Einbezug von vorbefüllten Einrichtungen

Wie oben dargelegt wäre eine Besteuerung der Produktion sowie importierter Bulkware in Anlehnung an die Energiesteuer administrativ verhältnismäßig einfach umzusetzen und beträfe unmittelbar unter 100 Produzenten und Importeure in Deutschland[66]. Exportierte Bulkware könnte über die Steuerlager bilanziert werden und unterläge nicht der Besteuerung.

Weiter zu untersuchen wäre, ob auch Mengen in vorgefüllten (importierten) Geräten besteuert werden sollen und ob eine Übertragbarkeit des Energiesteuersystems möglich ist. Da vorgefüllte Geräte von Verbrauchern auch direkt (bspw. per Internet) aus dem europäischen (und außereuropäischen) Ausland erworben werden können, ist eine zentrale Anlaufstelle wie bei der Bulkware in Form von Großhändlern oder Herstellern nicht gegeben. Die Steuerpflicht würde daher direkt beim Endkunden angesetzt werden müssen. Ein ähnliches Prinzip der Besteuerung besteht beispielsweise für Kaffee, der in Deutschland – nicht aber in allen EU-Ländern – besteuert und durch Privatpersonen bezogen wird, die damit direkt steuerpflichtig sind.

Grundsätzlich wäre eine Besteuerung von vorbefüllten HFKW-Mengen sinnvoll, damit die Steuer ihre volle Lenkungswirkung entfalten kann und Schlupflöcher, wie ein Ausweichen auf Importprodukte (Leakage), vermieden werden. Das Ausmaß dieser Ausweichreaktion hängt maßgeblich davon ab, ob es für die jeweilige Anwendung möglich ist, Teile von Anlagen vorzubefüllen und zu importieren (Produktionsstrukturen, geographische Verteilung der Hersteller und Märkte (Europa oder außerhalb), Transportabitilität, -kosten) oder ob die Anlagen als komplexe Systeme erst komplett installiert werden müssen und dann vor Ort befüllt werden.

Eine Besteuerung von F-Gas-Mengen, die in importierten Geräten oder Produkten enthalten sind (z.B. Füllmengen im Ausland produzierter Klimageräte oder Klimaanlagen von Nutzfahrzeugen oder auch F-Gas-/HFKW-Gehalte von importierten Dämmplatten oder Inhalationssprays), würde zusätzlich eine schwer überschaubare Menge von Klein-Importeuren unmittelbar betreffen und wäre deutlich aufwändiger

[66] Befragte Unternehmen in der Erhebung nach Umweltstatistikgesetz, 2011: 70 Importeure/ Exporteure und 1 Hersteller klimawirksamer Substanzen.

in der Administration und Kontrolle. Dies würde implizieren, dass die Überwachung der deutschen Grenzen und Steuerlager, der Verwaltungsaufwand und somit die Kosten der Durchsetzung der Steuergerechtigkeit deutlich nach oben getrieben würden.

Der Anteil der deutschen HFKW-Emissionen, die aus in Geräten/Produkten importierten HFKW-Mengen stammen, lässt sich auf etwa 20 % abschätzen, d.h. eine Besteuerung der HFKW-Bulkware würde etwa 80 % der HFKW-Emissionen[67] betreffen. Die folgenden quantitativen Abschätzungen der Kostensteigerungswirkung einer F-Gas- bzw. HFKW-Steuer bezieht sich deshalb auf eine Steuer, die nur Bulkware (Gebinde) adressiert. Auf die Gefahr einer daraus gegebenenfalls resultierenden Zunahme von Importen von F-Gasen/HFKW in Produkten wird in Abschnitt 4.3.5.2.4 eingegangen. Solche zusätzlichen Importe könnten vermeiden werden, wenn gleichzeitig entsprechende Verbote erlassen würden (zu Verboten siehe auch Kapitel 4.4).

4.3.5.1.4 Rückerstattung

Exportierte Bulkware könnte über die Steuerlager bilanziert werden und unterläge nicht der Besteuerung.

Eine etwaige Rückerstattung einer F-Gas-Steuer beim Export von Geräten oder Produkten, die F-Gase enthalten[68], wäre in noch höherem Maße aufwändig, bedürfte strikter Kontrolle und wird deshalb nicht empfohlen.

4.3.5.1.5 Festlegung der zu besteuernden Stoffe

Für die Auswahl der zu besteuernden Gase ist zu entscheiden, ob die Steuer auf teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) fokussiert sein soll, oder auch perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und/oder Schwefelhexafluorid (SF_6) einschließen soll:

FKW tragen derzeit in Deutschland nur zu einem sehr geringen Anteil (<2 %) zu den F-Gas-Emissionen bei und nehmen seit 1995 stetig ab[69]. Emissionen entstehen bei der Herstellung von Primäraluminium[70] und in der Halbleiterindustrie[71], mengenmäßig weniger relevant sind die Anwendungen als Kältemittel (vorwiegend in Altanlagen in der Gewerbekälte), zur Bohrlochreinigung in der Leiterplattenfertigung und zur Kantenisolierung in einem bestimmten Produktionsverfahren kristalliner Solarzellen. Angesichts der geringen Einsatzmengen und hochspezialisierten Anwendungen ist ein

[67] Im Falle der Realisierung eines Vorbefüllungsverbots, wie es im Ratsvorschlag vom Februar 2013 zur Revision der EU-F-Gas-Verordnung (Interinstitutional File 2012/0305 (COD)) vorgesehen ist, würde dieser Anteil auf fast 100 % steigen.

[68] Von Wettbewerbsverzerrungen könnte am ehesten die deutsche Produktion von HFKW-geschäumten Schaumstoffen sein, siehe Kapitel 4.3.5.1.6.

[69] Öko-Recherche 2012: Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland 1995-2011. Endbericht zum Forschungsvorhaben Inventarermittlung der F-Gase 2011, derzeit unveröffentlicht.

[70] FKW entstehen im Produktionsprozess von Primäraluminium. Im Rahmen einer Selbstverpflichtung zur Emissionsminderung konnten durch umfangreiche Modernisierungen und Prozessoptimierung ein starker Rückgang der Emissionen pro Tonne Aluminium bereits erreicht werden. Ab 2013 unterliegen die restlichen FKW-Emissionen aus der Aluminiumindustrie dem EU-Emissionshandel und könnten nicht besteuert werden.

[71] Auch die Halbleiterindustrie hat eine Selbstverpflichtung abgeschlossen (Aktualisierung 2011), welche weitere Verringerung der FKW- und SF_6-Emissionen beinhaltet.

Innovationsanreiz zur Entwicklung technologischer Alternativen zur Nachfrage- und Emissionsreduktion nicht zu erwarten. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, FKW nicht in den Steuergegenstand einer etwaigen F-Gas-Steuer einzuschließen.

SF_6 ist derzeit zu ca. 27 % (2011; gemessen in CO_2-Äquivalenten) an den deutschen F-Gas-Emissionen beteiligt[72]. Aktuelle Hauptemissionsquelle sind in früheren Jahren mit SF_6 befüllte Schallschutzfenster, die heute entsorgt werden müssen. Diese Anwendung ist allerdings seit 2007 für Schallschutzscheiben für Wohnhäuser bzw. seit 2008 auch für alle anderen Fenster verboten. Der aktuell größte Anwendungsbereich von SF_6 ist die Nutzung als Schutzgas in elektrischen Anlagen zur Energieübertragung und –verteilung (Schaltgeräte und Schaltanlagen) sowie in elektrischen Bauteilen für die Energieübertragung (Zu- und Anbauten für Schaltanlagen). Deutsche Hersteller gehören zu den Weltmarktführern und die Mehrheit der produzierten Anlagen mit dem darin enthaltenen SF_6 wird exportiert. Eine nationale Besteuerung von SF_6 würde die Produktion in Deutschland verteuern und Anreize zur Produktionsverlagerung ins Ausland liefern. Technische Alternativen sind lediglich (zu hohen Kosten) für Mittelspannungsanlagen verfügbar (Emissions-Vermeidungskosten: 347,3 €/t CO_2-Äq.), nicht aber für gekapselte Hochspannungsanlagen[73]. Diese sind erforderlich, wenn für Freiluftanlagen kein ausreichender Platz zur Verfügung steht. Angesichts einer bestehenden Selbstverpflichtung und des Engagements der beteiligten Unternehmen in die Rückgewinnung von SF_6 beim Abbau von Schaltanlagen sowie die Anforderung der aktuellen F-Gase-Verordnung (Art. 4), dass nur zertifiziertes Personal für die Rückgewinnung eingesetzt werden darf, ist zudem nur die Emission eines Bruchteils der eingesetzten SF_6-Mengen zu befürchten. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, SF_6 nicht in den Steuergegenstand einer etwaigen F-Gas-Steuer einzuschließen.

Eine F-Gas Steuer sollte also in erster Linie als HFKW-Steuer erwogen werden. Zur Definition, welche Substanzen konkret besteuert werden könnten, bieten sich zunächst diejenigen HFKW an, die auch der europäischen Regelung unterliegen. Damit sind die aktuell eingesetzten Gase mit hohen Treibhausgaspotenzialen vollständig erfasst.

4.3.5.1.6 Ausnahmen von der Besteuerung und Steuerprivilegien

Ausnahmen von der Steuer sind insbesondere in den Fällen zu erwägen,

- in denen eine Steuer erheblich zu Produktionsverlagerungen ins Ausland (verbunden mit der so genannten ‚Leakage', also Abwanderung von Nachfrage und/oder Emissionen) anreizen könnte,
- in denen die Erhebung der Steuer und Kontrolle der Steuerpflichtigen mit unverhältnismäßig hohem Aufwand verbunden wäre,
- in denen die Steuer weder eine Lenkungswirkung zu verfügbaren Alternativtechnologien aufweisen noch die Entwicklung von Alternativtechnologien anreizen würde,

[72] Öko-Recherche 2012: Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland 1995-2011. Endbericht zum Forschungsvorhaben Inventarermittlung der F-Gase 2011, derzeit noch unveröffentlicht.

[73] Siehe die ausführliche Beschreibung zu Alternativtechnologien für Mittelspannungs-Schaltanlagen: Schwarz, W et al 2011: Preparatory study for a review of Regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases. Annexes to the Final Report: prepared for the European Commission in the context of Service Contract No 070307/2009/548866/SER/C4, Frankfurt am Main, September 2011, S. 368ff.

- in denen die Nachfrage nach F-Gasen durch Zerstörung im Anwendungsprozess oder etablierte Systeme zur Rückholung der Gase nach Ende der Produktlebenszeit weitgehend von Emissionen an F-Gasen entkoppelt sind und/oder
- in denen als unangemessen hoch eingeschätzte Kosten- bzw. Preissteigerungen für mit Hilfe von F-Gasen herstellten bzw. F-Gas enthaltende Produkte zu erwarten wären und wo deshalb unerwünschte Nebeneffekte bezüglich des Gebrauchs dieser Produkte zu befürchten wären.

4.3.5.1.7 Kostensteigerungen für Verbraucher

Zur Beurteilung von Kostensteigerungen für Verbraucher, die sich aus einer HFKW-Steuer ergeben könnten, ist es sinnvoll, dies spezifisch für die verschiedenen Anwendungssektoren zu betrachten. Diese lassen sich grob einteilen in

- die Nutzung als Kältemittel in
    - stationären Kälteanwendungen (z.B. Gewerbekälte-Zentralanlagen im Supermarkt, Industriekälteanlagen in der Nahrungsmittelproduktion, Kühlhäuser etc.),
    - mobilen Kälteanwendungen (z.B. Kühltransporter, Kühl-Container),
    - stationären Klimaanwendungen (z.B. Single- oder Multi-Split-Klimageräte, Flüssigkeitskühlsätze zur Gebäudeklimatisierung) oder
    - mobilen Klimaanwendungen (z.B. Klimaanlagen für Personen und Nutzfahrzeuge, Schiffe)
- die Nutzung als Treibmittel in Dämmschäumen (XPS, PU) und Montageschaum,
- die Nutzung als Feuerlöschmittel,
- sonstige Anwendungen:
    - die Nutzung als technische und medizinische Aerosole,
    - die Nutzung als Lösemittel (in Deutschland nur sehr eingeschränkt zulässig),
    - die Nutzung als Schutzgas beim Magnesiumguss (als Ersatz für SF_6),
    - sonstiges.

Die folgenden Abbildungen illustrieren beispielhaft die Mehrkosten in einem HFKW-Steuerszenario von 20 €/t CO_2-Äq.[74]. auf Produktion und importierte Bulkware ohne Ausnahmen. Mehrkosten ergeben sich entweder durch die Zahlung der HFKW-Steuern oder (wo verfügbar und billiger als die Steuer) durch den Einsatz von Alternativtechnologien ohne HFKW. Dabei stellen die blauen Balken die auf der linken vertikalen Achse aufgetragenen prozentualen Mehrkosten dar. Die absoluten Mehrkosten (Mio. € in 2030) pro Anwendungssektor sind auf der rechten vertikalen Achse aufgetragen und werden durch die orangefarbenen Rautenmarkierungen dargestellt. Es ist dabei zu beachten, dass die Skalen der verschiedenen Abbildungen nicht identisch sind.

[74] Für die anderen betrachteten Steuersätze von 30 bzw. 40 €/t CO_2-Äq. wären die Schlussfolgerungen in erster Näherung identisch für diejenigen Anwendungssektoren, bei denen es verfügbare Alternativtechnologien gibt (siehe 7.1), da diese meist schon günstiger als 20 €/t CO_2-Äq. sind und somit die Vermeidung billiger wäre als das Zahlen der Steuer. Eine proportionale Verstärkung des Kostensteigerungseffektes würde für diejenigen Anwendungssektoren greifen, für die keine Alternativtechnologien bekannt sind (siehe 7.1).

Zu beachten sind weiterhin die Systemgrenzen der Kostenbetrachtung, die aufgrund der Heterogenität der HFKW-Anwendungen schwer verallgemeinerbar sind. Die prozentualen Mehrkosten werden in der Regel für die die HFKW nutzenden Aggregate berechnet, aber nicht für die Systeme innerhalb derer die HFKW-basierten Aggregate genutzt werden (also für das Beispiel einer Fahrzeug-Klimaanlage die Steigerung von annuisierten Investitionskosten und Betriebskosten bezogen auf die Klimaanlage aber nicht auf die die Gesamtkosten des betreffenden Fahrzeugs).

Heute gibt es in fast allen betrachteten Anwendungssektoren bereits HFKW-freie Systeme am Markt. In einigen Anwendungen stellen Systeme mit HFKW Nischenanwendungen dar. Die unten dargestellten Kostenangaben (Abbildung 19) beziehen sich naturgemäß auf Systeme, bei denen bisher keine Umstellung erfolgte.

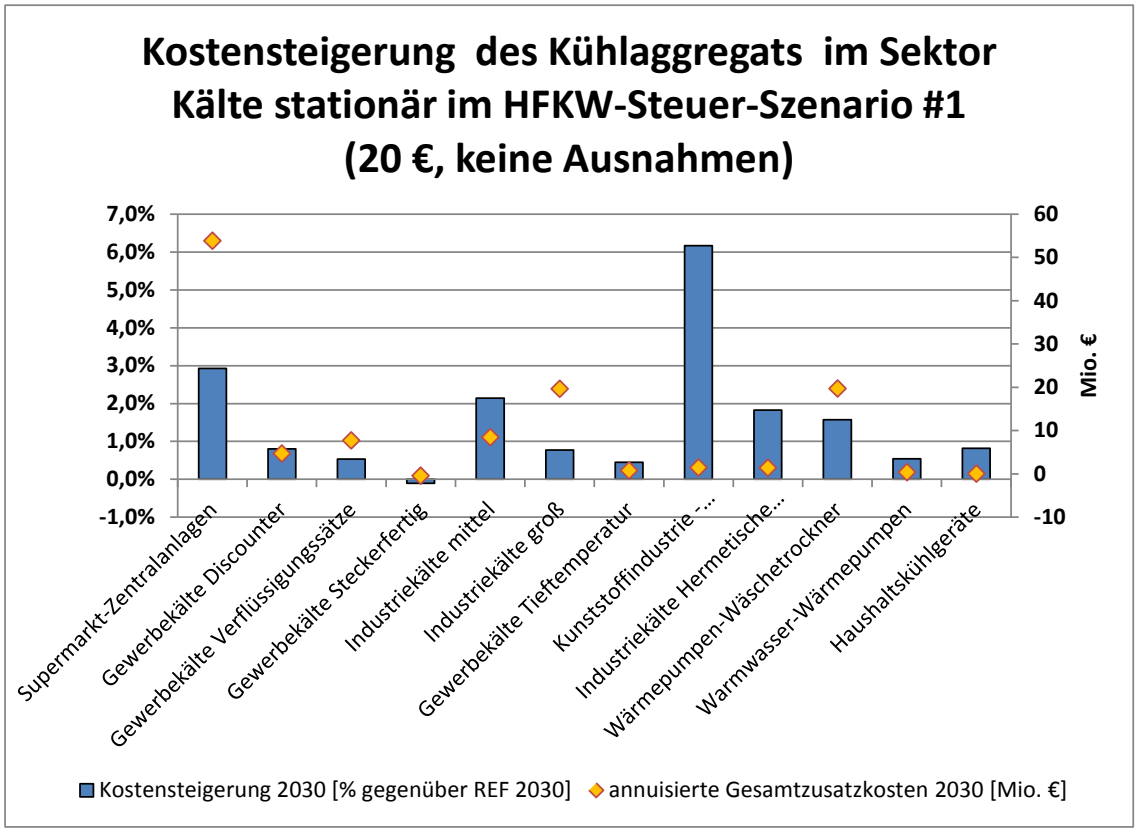


Abbildung 19: Kostensteigerung für Anwendungssektoren der stationären Kälte bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen

Im Bereich der stationären Kälte liegen beim betrachteten Steuersatz von 20 €/t CO_2-Äq. die Mehrkosten für die Kälteaggregate meist unter 2 %, bei Supermarkt-Kälte bei ca. 3 %. Für Kälteanwendung in der Kunststoffindustrie (ca. 6 % Mehrkosten) wurden im Modell auf Grund der geringen absoluten HFKW-Nachfrage keine Alternativtechnologien recherchiert. Falls sich dort Alternativen ohne HFKW als verfügbar erweisen, dürften die Mehrkosten erheblich sinken. Bis auf die direkt in Haushalten verwendeten Haushaltskühlgeräte, Wärmepumpen-Wäschetrockner und Warmwasser-Wärmepumpen (ganz rechts im Bild) stellen die betrachteten Kälteanlagen nur einen von vielen Kostenfaktoren dar, die auf den Endpreis der letztendlich mit Hilfe von Kühlung produzierten oder gelagerten Produkte Einfluss nehmen. Ausnahmen im Bereich der stationären Kälte werden nicht empfohlen.

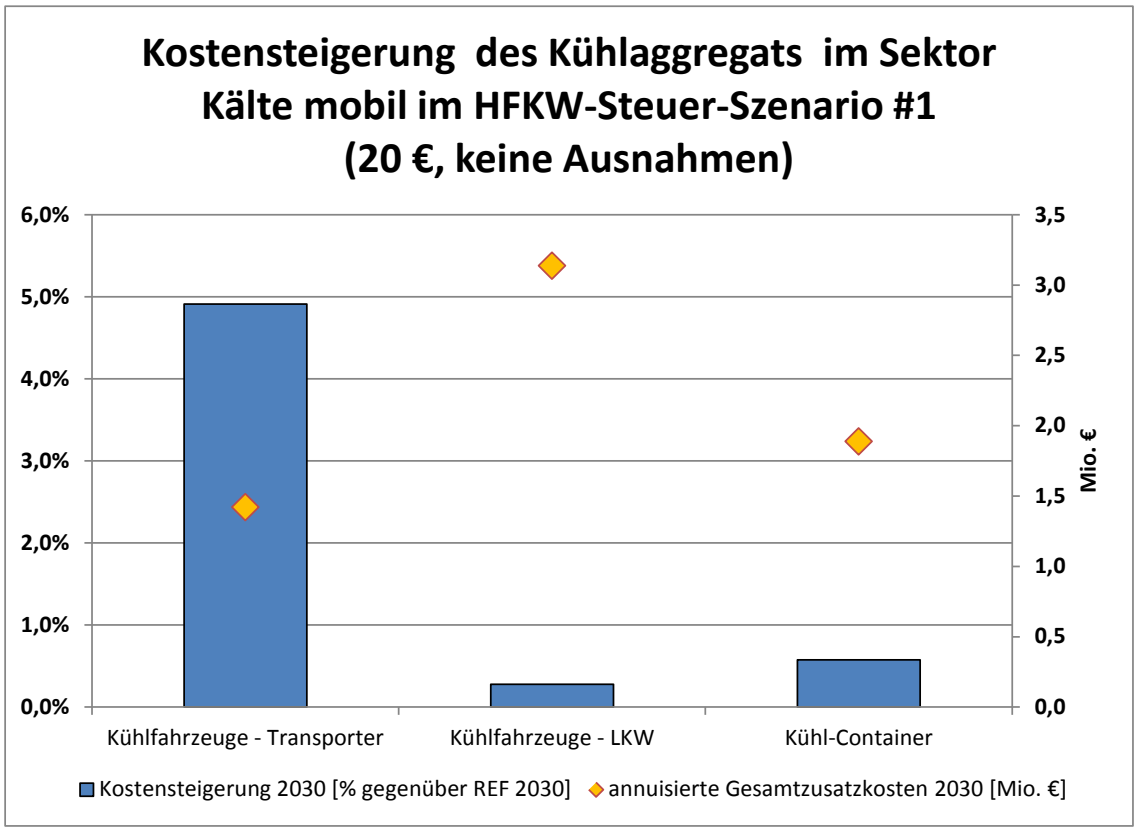


Abbildung 20:Kostensteigerung für Anwendungssektoren der mobilen Kälte bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen

Im Bereich der mobilen Kälte (Abbildung 20) liegen beim betrachteten Steuersatz von 20 €/t CO_2-Äq. die Mehrkosten für die Kälteaggregate von Kühltransportern bei ca. 5%, bei den absolut deutlich relevanteren Kühl-LKW und Kühl-Containern jedoch deutlich unter 1%.

Bei der Bewertung der prozentualen Mehrkosten ist zudem zu beachten, dass es sich nur um die Mehrkosten (Betrachtung der annuisierten Differenzinvestition zuzüglich der jährlichen Betriebskosten-Differenz) des Kälteaggregats handelt. Wenn man die Mehrkosten auf Anschaffung und Betrieb des kompletten Fahrzeugs bezöge, wären die prozentualen Mehrkosten deutlich niedriger. Ausnahmen im Bereich der mobilen Kälte werden nicht empfohlen.

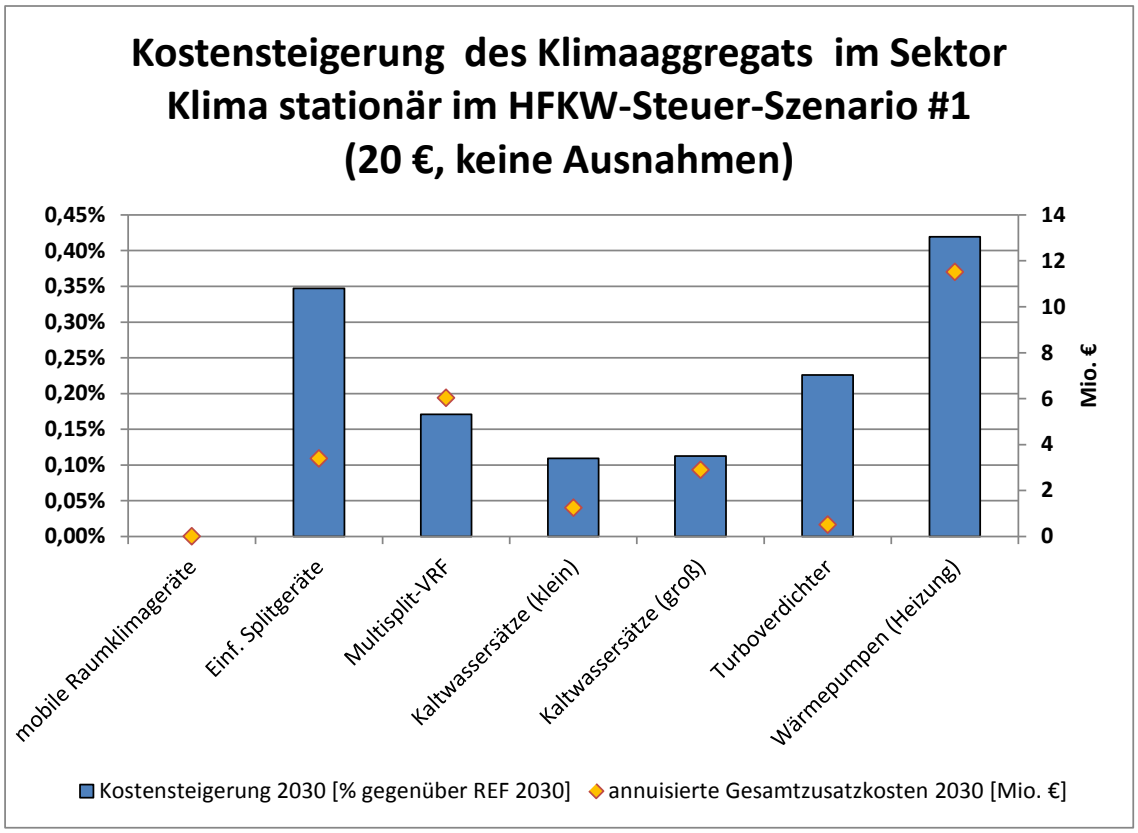


Abbildung 21: Kostensteigerung für Anwendungssektoren der stationären Klimatisierung bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen

Im Bereich der stationären Klimatisierung (Abbildung 21) liegen die Mehrkosten für die Klimaaggregate beim betrachteten Steuersatz von 20 €/t CO_2-Äq. überall unter 0,5 %.

Für mobile Raumklimageräte werden keine Mehrkosten ausgewiesen, weil diese Geräte inklusive ihrer Befüllung an HFKW zu 100 % importiert werden. Die hier angenommene Steuer auf Bulkware hätte also keinen Effekt. Ausnahmen im Bereich der stationären Klimatisierung werden nicht empfohlen.

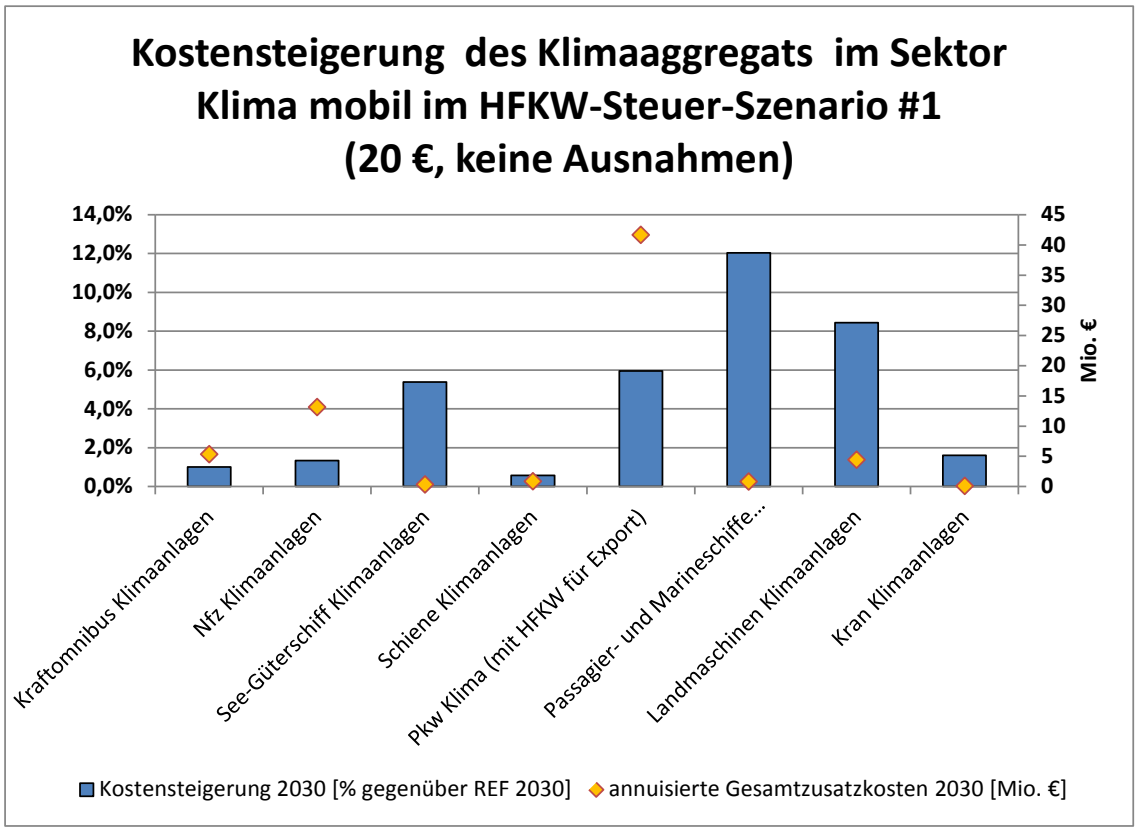


Abbildung 22: Kostensteigerung für Anwendungssektoren der mobilen Klimatisierung bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen

Im Bereich der mobilen Klimatisierung (Abbildung 22) liegen beim betrachteten Steuersatz von 20 €/t CO_2-Äq. die Mehrkosten für die Klimaaggregate von zwischen ca. 0,5 % (bei Schienenfahrzeugen) und 12 % (bei Passagier- und Marineschiffen). Bei den absoluten Mehrkosten dominiert das Segment der Pkw-Klimaanlagen. Hierbei handelt es sich um die Steuerlast der Erstbefüllung von Klimaanlagen mit HFKW-134a für den Export.

Gemäß der EU-Richtlinie zu Fahrzeug-Klimaanlagen (MAC-Richtlinie) sind ab 2017 bei in der EU verkauften neuen Pkw und kleinen Nutzfahrzeugen nur Klimaanlagen mit einem Kältemittel mit einem GWP <150 zulässig, was das bisher verwendete HFKW-134a ausschließt. Gemäß der Definition der Szenarien wird im Modell deshalb von einer Umstellung der Erstbefüllung von Klimaanlagen für den europäischen Markt und der Importfahrzeuge bis 2017 ausgegangen.[75]

[75] Allerdings entfaltet die Richtlinie bisher kaum Wirkung. Fast alle europäischen Hersteller haben Autotypenzulassungen, die den Einsatz von HFKW-134a länger, zum Teil bis 2017 erlauben. Nachdem es 2012 bei Versuchen mit dem Ersatzkältemittel HFKW-1234yf zu Pkw-Bränden kam, will Automobilhersteller Daimler AG das Kältemittel HFKW-1234yf nicht mehr einsetzen, aus Sicherheitsgründen wird derzeit wieder HFKW-134a verwendet. Die deutschen Automobilhersteller kündigten daraufhin im Frühjahr 2013 an, zukünftig auf das nicht brennbare Kältemittel CO_2 umstellen zu wollen, was aber voraussichtlich noch mehrere Jahre dauern wird. Eine erneute Einigung der Automobilhersteller auf ein neues einheitliches Kältemittel für den europäischen Markt oder den Weltmarkt gibt es bisher nicht. HFKW-134a wird daher bis 2017 in Europa weiter verwendet werden. Es erscheint daher unwahrscheinlich, dass HFKW-134a außerhalb Europas vor dem Jahr 2017 ersetzt wird. Im Modell wurde daher angenommen, dass die Befüllung von Klimaanlagen der für den Export außerhalb der EU bestimmten Fahrzeuge weiterhin mit HFKW-134a erfolgt.

Bei der Bewertung der prozentualen Mehrkosten ist zudem zu beachten, dass es sich nur um die Mehrkosten (Betrachtung der annuisierten Differenzinvestition zuzüglich der jährlichen Betriebskosten-Differenz) des Klimaaggregats handelt. Wenn man die Mehrkosten auf Anschaffung und Betrieb des kompletten Fahrzeugs bezöge, wären die prozentualen Mehrkosten deutlich niedriger[76]. Mehr Ausnahmen im Bereich der mobilen Klimatisierung werden nicht empfohlen.

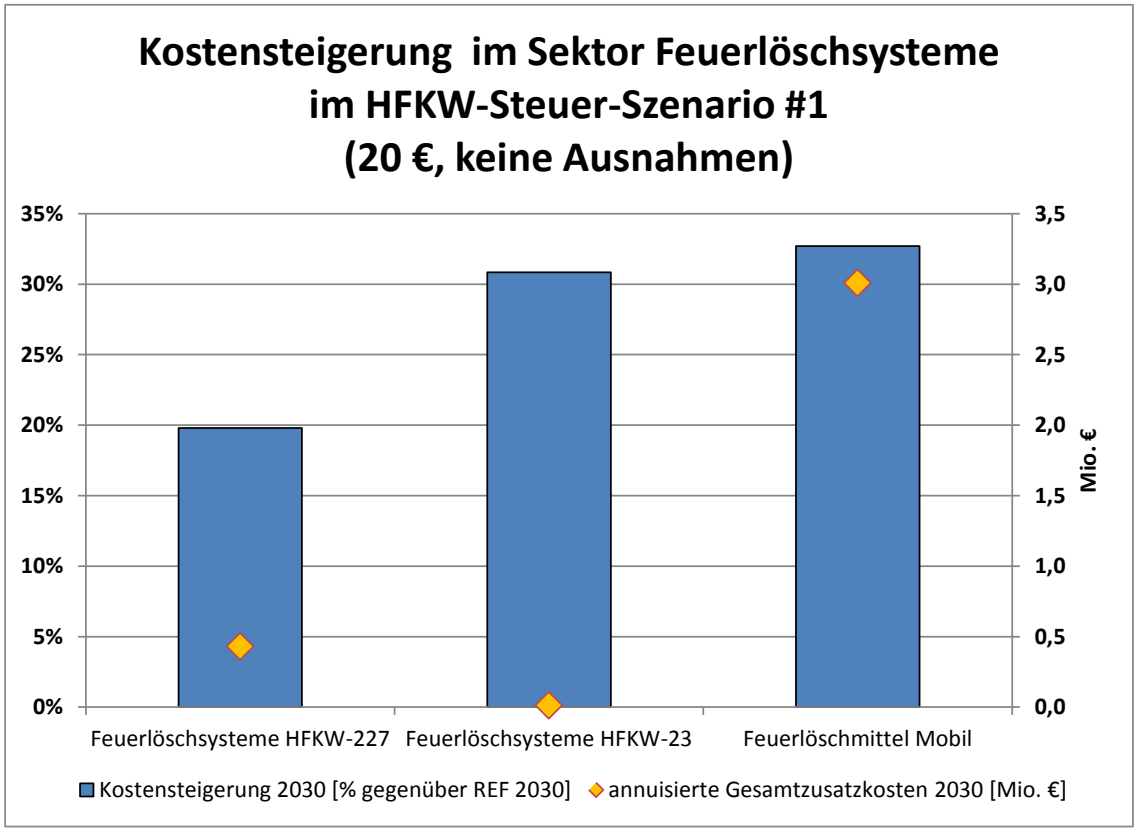


Abbildung 23: Kostensteigerung für Feuerlöschsysteme bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen

Bei Feuerlöschsystemen mit HFKW (Abbildung 23) haben die Löschmittel selbst (also die HFKW) einen relativ hohen Anteil an den Systemkosten. Die verwendeten HFKW weisen zudem besonders hohe Treibhausgaspotenziale auf. Deshalb würde eine HFKW-Steuer von 20 €/t CO_2-Äq. zu bedeutenden Kostensteigerungen in der Größenordnung von ca. 20 % bis 33 % führen. Bei der Bewertung der prozentualen Mehrkosten sind aber die Anwendungsfelder dieser Feuerlöschanlagen zu berücksichtigen: HFKW-basierte Löschsysteme werden dort eingesetzt, wo es hochwertige Güter zu schützen gilt, die durch das Feuerlöschmittel so wenig wie möglich beschädigt werden sollen. Typische Anwendungsfelder sind Serverräume und (für mobile Systeme) Panzer.

[76] Wenn z.B. die absoluten Kosten der Klimaanlage von 250 auf 300 Euro steigen, machen diese Mehrkosten von 50 Euro am Verkaufspreise eines mittleren Pkw von 20.000 Euro doch nur 0,25% aus.

Wenn man die Mehrkosten auf Anschaffung und Betrieb des kompletten zu schützenden Systems bezöge, wären die prozentualen Mehrkosten deutlich niedriger. Ausnahmen im Bereich der Feuerlöschsysteme werden nicht empfohlen.

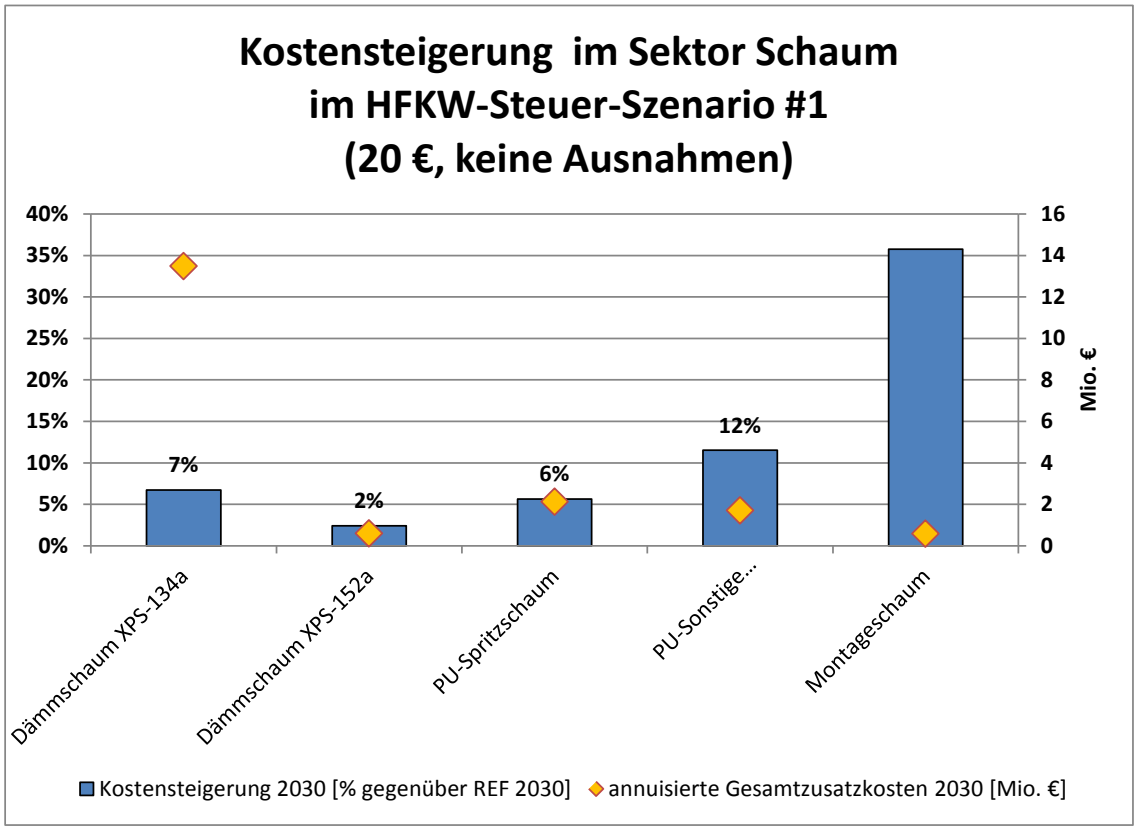


Abbildung 24: Kostensteigerung für Schaumanwendungen bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen

Für Schaumanwendungen (Abbildung 24) liegen beim betrachteten Steuersatz von 20 €/t CO_2-Äq. die Mehrkosten für die Schaumprodukte zwischen ca. 2 % (für bisher mit HFKW-152a geschäumte XPS-Dämmplatten) und 35 % (für mit HFKW-134a geschäumten Montageschaum[77]). Bei den absoluten Mehrkosten dominiert das Segment der bisher mit HFKW-134a geschäumten XPS-Dämmplatten, hier werden Mehrkosten von ca. 7 % berechnet. Dabei wird eine Substitution von HFKW-134a (GWP 1.430) durch das ungesättigte HFKW-1234ze (GWP 6) angenommen. Schaumprodukte werden in der Regel von Endverbrauchern für die energetische Dämmung von Gebäuden eingesetzt (ausgenommen Montageschaum).

Bei im Verkaufspreis von Dämmschäumen spürbaren Preisaufschlägen könnte zu befürchten sein, dass sich Bauherren für geringere Dämmstärken entscheiden, was sich in erhöhtem Energiebedarf der gedämmten Gebäude auswirken würde. Ein solcher Effekt könnte theoretisch eine in erster Linie mit THG-Emissionsminderung motivierte Steuer konterkarieren. Im Falle einer HFKW-Steuer könnte eine

[77] Da der Kostenanteil des Treibmittels an den Gesamtkosten einer Montageschaumdose hoch ist, würde sich eine HFKW-Steuer entsprechend stark bemerkbar machen. Die absoluten Mengen von in Deutschland benutztem HFKW-Montageschaum sind aber gering, der größte Teil der deutschen Produktion solcher Dosen geht in den Export.

Ausnahme für Dämmstoffe deshalb erwogen werden. Bei der Diskussion von möglichen Preissteigerungen für Schäume ist allerdings zu beachten, dass es sich bei den bisher HFKW–haltigen Schäumen (nur für diese wäre eine Steuer ja relevant) nicht um den Massenmarkt handelt sondern um ohnehin höherpreisige Nischenprodukte handelt (z.B. einzelgefertigte Blockschaumteile), so dass eine unerwünschte Lenkungswirkung einer HFKW-Steuer in Richtung weniger Dämmung in der Praxis kaum zu erwarten wäre.

Solange importierte HFKW-geschäumte Dämmstoffe nicht ebenso besteuert würden[78], würde sich außerdem angesichts spürbarer Kostendifferenzen zusätzlich ein Wettbewerbsvorteil für ausländische Schaumhersteller bzw. ein Anreiz zur Produktionsverlagerung einstellen. Auch diese Wettbewerbsverzerrung würde für eine Ausnahme von einer HFKW-Besteuerung sprechen. Einer solchen Wettbewerbsverzerrung (nicht aber der Kostensteigerung) könnte allerdings mit Hilfe eines ergänzenden Inverkehrbringungsverbotes für HFKW-haltige Schäume (ohne ungesättigte HFKW) vorgebeugt werden. Dies wäre technisch möglich, da Alternativen verfügbar sind.

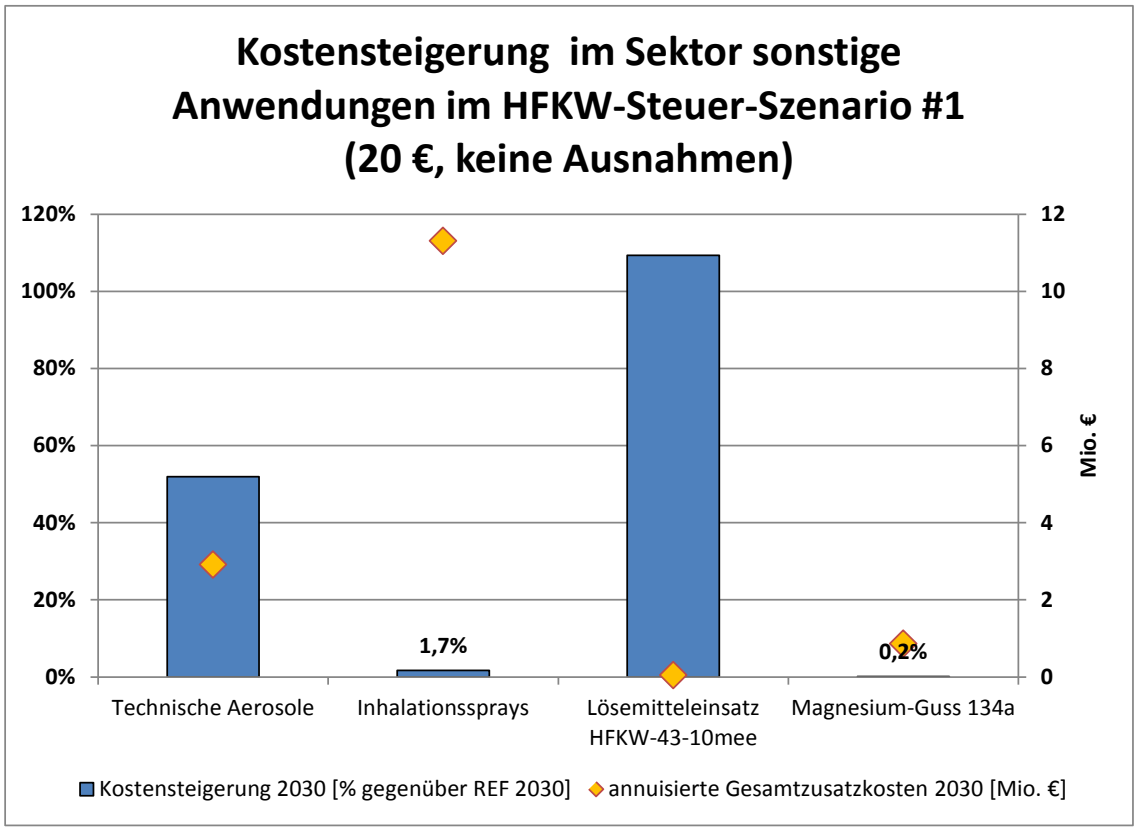


Abbildung 25: Kostensteigerung für sonstige Anwendungssektoren bei einem Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq) für Bulkware ohne Ausnahmen

[78] Eine Besteuerung des HFKW-Gehalts importierter Schaumprodukte würde allein schon dadurch kompliziert, dass es für Händler und Kontrolleuer nicht einfach ist, den HFKW-Gehalt von Schäumen festzustellen. Gelöst werden könnte dies durch Festsetzung einer zu besteuernden HFKW-Durchschnittsmenge pro Einheit Produkt. Eine Nachweispflicht bzgl. Abweichungen von dieser Menge läge beim Importeur.

Als ‚sonstige' Anwendungssektoren (Abbildung 25) werden technische Aerosole, medizinische Aerosole, die Nutzung von HFKW-43-10mee als Lösemittel sowie der Einsatz von HFKW-134a als Schutzgas beim Magnesium-Guss betrachtet:

Bei Dosieraerosolen und technischen Aerosolen haben die HFKW als Treibmittel einen recht hohen Kostenanteil am Produkt. Verwendet werden diese Aerosole in Kälte-, Druckluft- und Reinigungssprays, die vor allem bei Reparaturen an unter Spannung stehenden elektrischen und elektronischen Bauteilen verwendet werden, wo keine brennbaren Substanzen eingesetzt werden dürfen. Dies sind eher technische Spezialanwendungen, wo der Einfluss auf die Verbraucherpreise gering bleiben dürfte. Eine Ausnahme wird nicht empfohlen.

Für Inhalationssprays wurde im Modell mangels medizinischer Expertise keine verfügbaren Alternativen angenommen, die sich im Steuerszenario ergebende absolute Steuerlast dominiert den Bereich der ‚sonstigen' Anwendungen sehr stark. In einzelnen Spraydosen sind jedoch nur sehr geringe Mengen von HFKW enthalten (ca. 15 g pro 10ml-Inhalator). Angesichts der hohen Verkaufspreise der Sprays, würde eine Steuer von 20 €/t CO_2-Äq. bei voller Weitergabe der Kosten nur zu einem Preisaufschlag für die Verbraucher (bzw. in diesem Falle die Krankenkassen) von ca. 2 % führen. Eine Ausnahme wird nicht empfohlen.

Für Lösemittelanwendungen von HFKW-43-10mee (über 100 % Mehrkosten) wurden im Modell auf Grund der geringen absoluten HFKW-Nachfrage[79] keine Alternativtechnologien recherchiert. Falls sich dort HFKW-freie Alternativen als verfügbar erweisen, dürften sinken die Mehrkosten erheblich sinken. Eine Ausnahme wird nicht empfohlen.

Beim Magnesium-Guss wird HFKW-134a (GWP 1.430) als klimafreundliche Alternative zum früher üblichen SF_6 (GWP 22.800) benutzt. Die Verwendung von SF_6 ist in Druckguss-Betrieben mit jährlichem Schutzgasverbrauch > 850 kg seit 2008 durch die F-Gase-Verordnung verboten. Ein Verbot von SF_6 auch für kleinere Betriebe wird im Vorschlag zur Revision aufgeführt. Eine Besteuerung von HFKW stellt nun aber eine ‚Bestrafung' derjenigen Unternehmen dar, die ihre Produktion auf das Schutzgas HFKW-134a umgestellt haben. Zudem wird ein von den Prozessparametern abhängiger Anteil des HFKW-134a beim Einsatz als Schutzgas zerstört: Untersuchungen gehen von einer Verringerung der effektiven Treibhauspotenzials von HFKW-134a auf 400 aus[80]. Relativiert werden diese Erwägungen durch die recht niedrigen prozentualen Mehrkosten von 0,2 %. Trotzdem könnte im Falle einer nationalen HFKW-Steuer eine Ausnahme erwogen werden.

Zusammenfassend über alle Anwendungssektoren erscheinen Ausnahmen kaum empfehlenswert. Da für Schaumanwendungen in Nischenproduktion (s.o.) ein unerwünschter Anreiz einer Steuer hin zu weniger Wärmedämmung nicht ausgeschlossen werden kann, werden in den folgenden Auswertungen auch Szenarien mit einer Ausnahme für Schaumprodukte berechnet. Eine mögliche Ausnahme für die HFKW-134a-Anwendung beim Magnesium-Guss wird in den weiteren quantitativen Betrachtungen zu Steuerszenarien auf Grund der geringen absoluten Relevanz nicht weiter berücksichtigt.

[79] Die Verwendung von HFKW-43-10-mee ist in Deutschland nur nach Beantragung einer Ausnahmegenehmigung vom Verwendungsverbot zulässig.

[80] Schwarz, W. & Gschrey, B. 2009: Final Report to Service Contract to assess the feasibility of options to reduce SF6 from the EU non-ferrous metal industry and analyse their potential impacts. S.10 ff.

4.3.5.1.8 Kohärenz mit politischen Optionen auf EU-Ebene

Nationale Maßnahmen sollten europäische und internationale Klimaschutzmaßnahmen ergänzen und unterstützen, um effektiv zu wirken. Hinsichtlich ökonomischer Instrumente zur Verminderung von Emissionen fluorierter Treibhausgase sind folgende Zusammenhänge zu beachten: Derzeit läuft die Revision der europäischen F-Gase-Verordnung (EG) Nr. 842/2006. Weiterhin werden auf internationaler Ebene Vorschläge für einen HFKW-Phase Down unter dem Montrealer Protokoll diskutiert.

4.3.5.2 Wirkung von HFKW-Steuern

Die Wirkung eines umweltpolitischen Instruments wird zum einen darin bewertet, wie gut das Instrument ein vorgegebenes ökologisches Zielniveau erreicht (ökologische Treffsicherheit) und wie schnell dieses Ziel erreicht wird (Wirkungsgeschwindigkeit). Zum anderen wird bewertet, ob das Ziel ökonomisch effizient erreicht wird, d.h. zu minimalen Kosten und mit dynamischen Innovationswirkungen. Darüber hinaus spielen Verteilungsaspekte in der Bewertung eine Rolle.

Die Wirkung eines Preisinstruments, bspw. in Form einer Steuer, oder eines Mengeninstruments mit daraus generiertem Preissignal hängt direkt davon ab, wie gut das Preissignal zu den Akteuren durchdringt, bei denen die Vermeidungsoptionen angesiedelt sind. Im Falle der Wertschöpfungskette von HFKW und den in diesem Zusammenhang betroffenen Akteuren sowie Anlagen, Produkten und Technologien, ist für den Überwälzungsprozess des Preissignals sinnvollerweise zu unterscheiden, ob das HFKW-Gas im Produkt am Ende der Wertschöpfungskette (Endprodukt) enthalten ist oder nicht.

Die Wertschöpfungskette und der Überwälzungsmechanismus für den Fall, dass das HFKW-Gas nicht im Endprodukt (d.h. nicht direkt in der gekühlten oder mit Hilfe der Kühlung produzierten Ware) enthalten ist, ist in Abbildung 26 dargestellt. Dies trifft beispielsweise auf zentrale, kommerzielle und industrielle Kälteanlagen, Kühlhäuser oder Kältetransporte zu, die im Prozess zur Fertigung des Endproduktes nötig sind.

Eine Steuer, die – wie oben beschrieben – bei den HFKW-Produzenten bzw. Importeuren ansetzt, wird an die nächste Stufe der Wertschöpfungskette weitergeleitet. Dies können HFKW-Zwischenhändler und/oder Serviceunternehmen sein, die die Befüllung und Wartung von Anlagen übernehmen. Auch Anlagenbauer, die kältetechnische Anwendungen herstellen, können insofern dem Preissignal direkt ausgesetzt sein, als dass sie ihre Anlagen vor der Inbetriebnahme mit Kältemittel befüllen. Befüllte Kälte- oder Klimaanlagen werden dann in der nächsten Stufe von Investoren, z.B. Bauherren für Gebäude, oder Betreibern, z.B. von Supermärkten, Kühlfahrzeugen, Kühlhäusern oder Industriebetrieben mit Bedarf an Prozesskälte, nachgefragt, die sich dem überwälzten Preissignal aus der Vorleistungsstufe gegenübersehen und die Kaufentscheidungen auf Basis ihrer individuellen ökonomischen Kalküle treffen werden. Eine mit HFKW befüllte Anlage wird demnach durch die Steuer teurer und steht in Konkurrenz zu Alternativanlagen, die anderes Kältemittel verwenden und damit nicht der Steuer unterliegen. Die letzte Stufe der Wertschöpfungskette ist beim Endkunden, d.h. dem Lebensmittelkäufer, Mieter oder allgemein dem Konsumenten von mit industrieller Kühlung verbundenen Produkten angesiedelt. Auf dieser Stufe wird das HFKW-Preissignal umgelegt auf eine Vielzahl

von Produkten, die selbst keine HFKW enthalten. Eine direkte Rückrechnung auf die HFKW-Bepreisung ist nicht möglich und daher dem Endkunden gegenüber auch nicht transparent. Eine mögliche Preiserhöhung, die der Endkunde wahrnimmt, bietet daher ein diffuses Preissignal, welches zu keiner HFKW-bezogenen Verhaltensänderung führen kann.

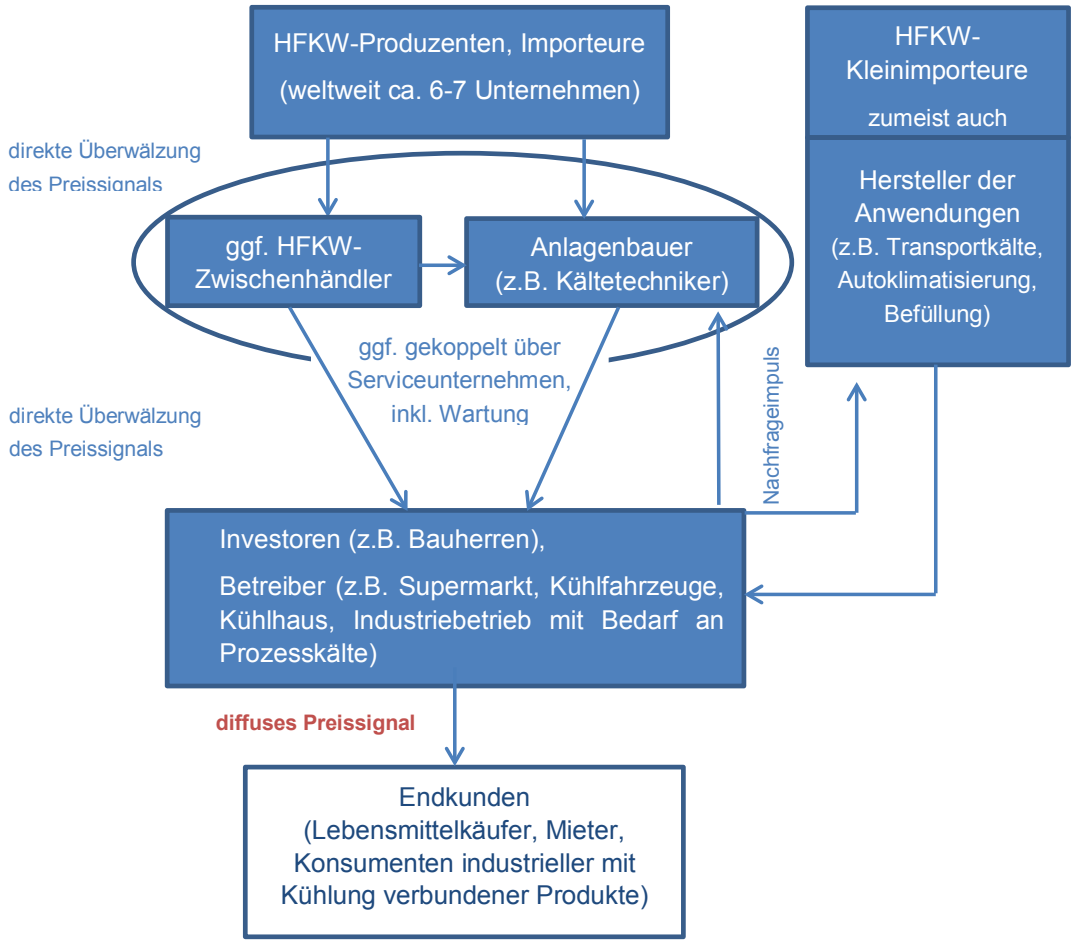


Abbildung 26: Wertschöpfungskette für HFKW-Nutzung und Durchleitungsmechanismus des Preissignals – HFKW ist **nicht** im Endprodukt enthalten.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die Wertschöpfungskette erlaubt, das Preissignal sichtbar bis zum Investor oder Betreiber durch zu leiten und auf dieser Ebene das Entscheidungskalkül für Investitionen beeinflusst. Dieses veränderte Entscheidungskalkül kann dazu führen, dass HFKW-arme Anlagen nachgefragt werden, die auf der Ebene der Anlagenbauer bereitgestellt (oder durch Innovationen auf der Ebene entwickelt) werden müssen. Die Vermeidungsoptionen technologischer Natur sind demnach auf der Ebene der Anlagenbauer angesiedelt. Weitere Vermeidungsoptionen bestehen auf der Ebene der Investoren oder Betreiber, die durch alternative Bauweisen oder Produktpaletten weniger Kühlung oder Klimatisierung nachfragen könnten. Vermeidungsoptionen beim Endverbraucher werden nicht angesprochen, da auf dieser Ebene kein Zusammenhang zwischen Preiserhöhung und HFKW-Bepreisung mehr sichtbar ist.

Leicht anders gestaltet sich die Wertschöpfungskette für Produkte, in denen HFKW direkt gebunden sind (Abbildung 27). Dies trifft beispielsweise zu auf Schäume, Aerosole, Feuerlöscher, Wärmepumpen-Wäschetrockner oder mobile Klimageräte.

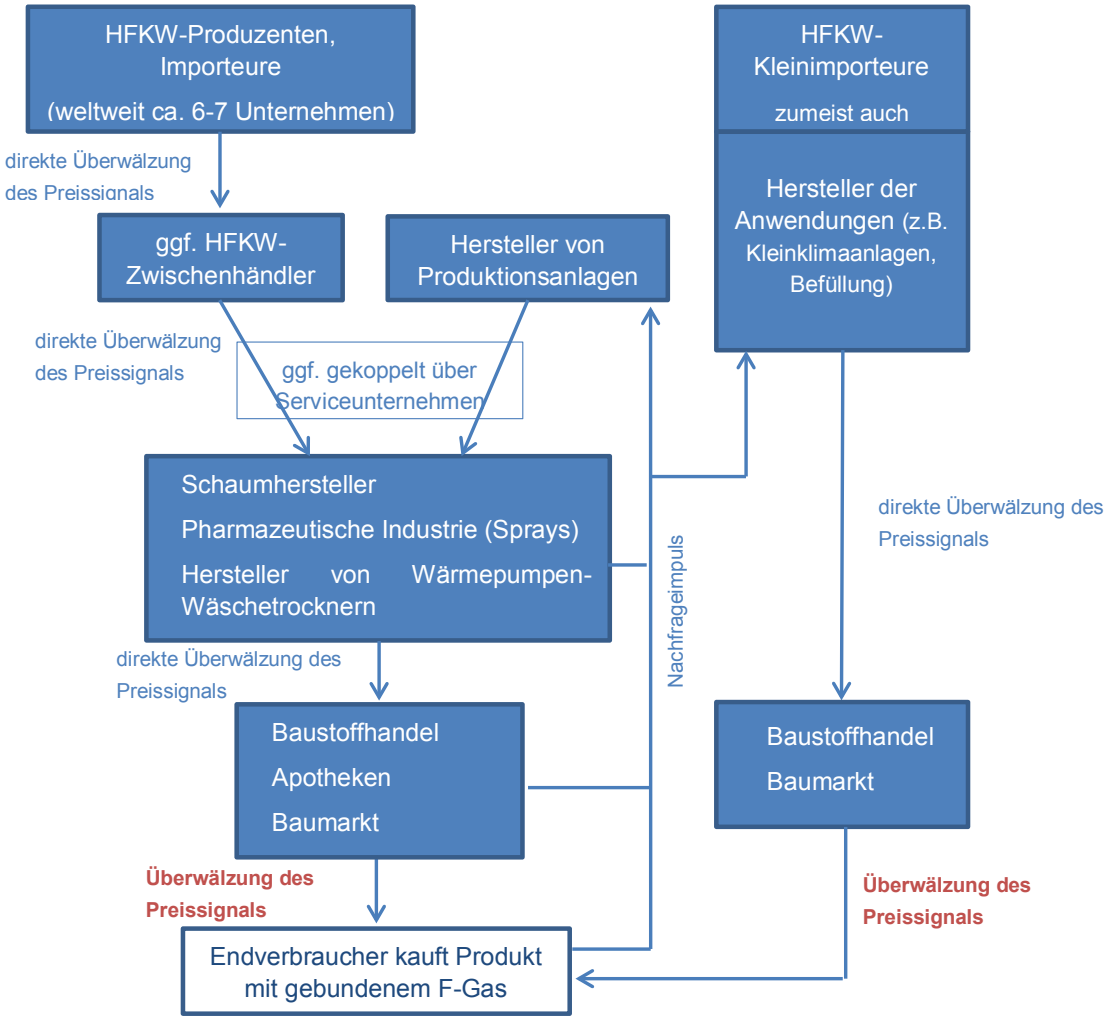


Abbildung 27: Wertschöpfungskette für HFKW-Nutzung und Durchleitungsmechanismus des Preissignals – HFKW ist im Endprodukt enthalten

Die oberen Stufen der Wertschöpfungskette sind wie in Abbildung 26 beschrieben. Unterschiede zeigen sich allerdings im weiteren Verlauf der Wertschöpfung, in der sich eine zusätzliche Ebene einstellt, die den Vertrieb der HFKW-enthaltenden Produkte betrifft. Hier wird das Preissignal von den Schaumhersteller, der pharmazeutischen Industrie oder den Herstellern von Wärmepumpen oder Wäschetrocknern an den Vertrieb, d.h. den Baustoffhandel, Apotheken oder Baumärkte überwälzt, die wiederum das Preissignal auf die Produkte mit gebundenem HFKW umlegen. Das Preissignal ist demnach bis zur Ebene des Endverbrauchers/-kunden sichtbar und erlaubt eine Reaktion auch auf dieser Ebene. Lediglich für medizinische Aerosole gilt dies nur eingeschränkt, da die Abrechnung zwischen Apotheke und gesetzlichen Krankenkassen direkt erfolgt. Vermeidungsoptionen in Form von Verhaltensänderungen oder Nachfragereaktionen auf Basis eines ökonomischen Kalküls sind daher auf der Ebene der Endverbraucher, der Ebene des Vertriebs und der Ebene der Produktherstellung angesiedelt. Die

Vermeidungsoptionen technologischer Natur (durch Innovationen) sind auch hier überwiegend auf der Ebene der Hersteller von Produktionsanlagen angesiedelt und können in Folge des Preissignals durch eine Veränderung der Nachfrage der nachgelagerten Stufen nach HFKW-armen oder –freien Anlagen induziert werden.

Im Folgenden werden die möglichen Wirkungen einer HFKW-Steuer genauer beleuchtet. Dabei wird gelegentlich der Vergleich zu einem Emissionshandelssystem herangezogen, um Unterschiede in den beiden System mit ihren Vor- und Nachteilen deutlicher zu machen.

4.3.5.2.1 Ökologische Effektivität

Die ökologische Effektivität bewertet, wie gut ein Instrument ein vorgegebenes ökologisches Zielniveau erreicht (ökologische Treffsicherheit) und wie schnell dieses Ziel erreicht wird (Wirkungsgeschwindigkeit).

Ökologische Treffsicherheit

Das besondere Kennzeichen einer Steuer ist das Preissignal. Die daraus induzierten Minderungen der HFKW-Nachfrage gestalten sich in Abhängigkeit der Durchleitung dieses Preissignals an die Akteure bei denen die Vermeidungsoptionen angesiedelt sind und deren jeweiliger kurz- und langfristiger Reaktion auf das Signal (anhand ihrer Vermeidungskosten und Preiselastizitäten). Zudem ist die Nachfrageminderung direkt abhängig von der Steuerhöhe. Ein vorgegebenes ökologisches Ziel kann daher nicht genau getroffen werden. Im optimalen Fall wird eine Steuer in einem Trial-and-Error-Prozess solange angepasst, bis die gewünschte Minderung erzielt wird. In der Praxis ist dies allerdings nicht realistisch und der ökologische Effekt unsicher.

Zum Vergleich, ein Emissionshandelssystem (oder ähnlich gelagertes System wie der HFKW-Phase down auf EU-Ebene) ist durch die Vorgabe der Mengenbegrenzung ökologisch treffsicher. Die vorgegebene Mengenbegrenzung wird von den teilnehmenden Akteuren erreicht. Einschränkungen ergeben sich, sobald die Mengenbegrenzung nicht für alle Akteure gilt.

Die ökologische Treffsicherheit sagt allerdings nichts darüber aus, ob das bestimmte Ziel ökologisch sinnvoll ist, die Zielsetzung ist typischerweise das Ergebnis eines politischen Prozesses.

Wirkungsgeschwindigkeit

Die Wirkungsgeschwindigkeit ist abhängig von Faktoren, wie z.B. politischer Durchsetzbarkeit, Implementierungsgeschwindigkeit, administrativ-rechtlicher Praktikabilität, Anreizen der Normenbefolgung und ähnliches.

Bei einer Steuer erfolgt auf Basis des Preissignals in der Regel eine rasche Wirkung, sobald die Steuer eingeführt ist. Auch die reine Ankündigung der Steuer kann schon Effekte hervorrufen. Die Wirkung ist allerdings abhängig von Geschwindigkeit (und Höhe) mit der das Preissignal zu den Akteuren durchgeleitet wird, die Minderungen durchführen können. Die tatsächliche Erreichung des ökologischen Ziels hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der der optimale Steuersatz ermittelt werden kann. Ein solcher rechtlicher Steueränderungsprozess kann mühsam und langwierig sein.

Im Vergleich, in einem Emissionshandelssystem (oder ähnlich gelagertem System wie dem HFKW-Phase down auf EU-Ebene) regelt der Markt nach Implementierung des Systems eigenständig und schnell die Zertifikatsumverteilung unter den Akteuren.

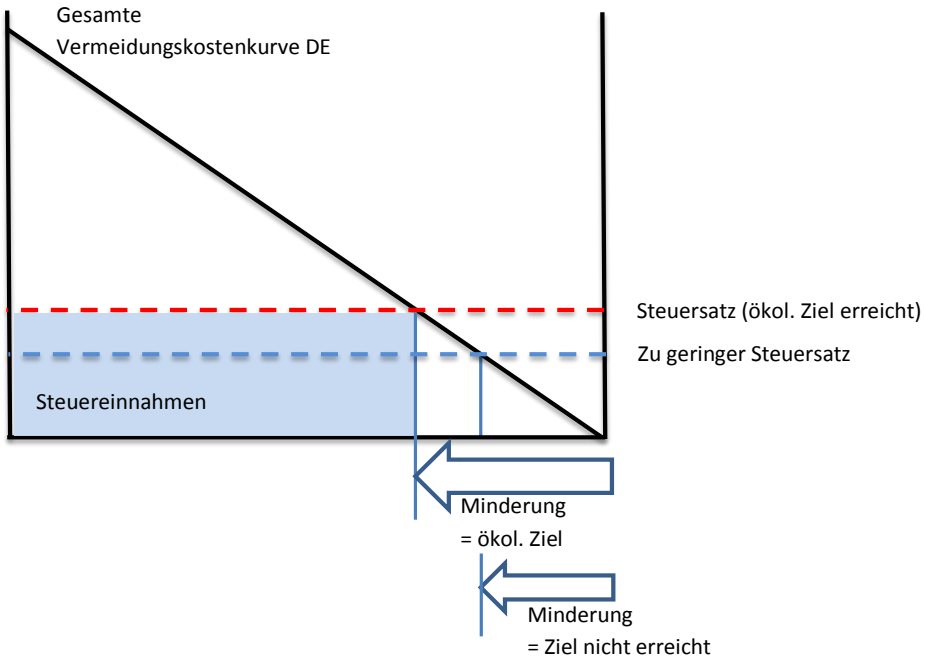
Die Mengenbeschränkung und möglicherweise weitere Verknappung ist allerdings vom Regulierer abhängig und bedarf unter Umständen komplexer Entscheidungsverfahren (vergleiche die Backloading- und Umstrukturierungsdiskussion im EU ETS).

4.3.5.2.2 Ökonomische Effizienz

Die ökonomische Effizienz beschreibt, ob ein ökologisches Ziel effizient erreicht wird. Dabei wird zwischen statischer Effizienz, d.h. der Fähigkeit eines Instrumentes, ein Ziel zu minimalen Kosten zu erreichen und der dynamischen Effizienz, d.h. der Fähigkeit eines Instrumentes, umwelttechnischen Fortschritt zu induzieren (dynamische Innovations- oder Anreizwirkung) unterschieden. Darüber hinaus spielen Verteilungsaspekte in der Bewertung eine Rolle.

Kosteneffizienz (statische Effizienz)

In der Theorie sind Steuern ein effizientes Instrument, ein ökologisches Ziel zu erreichen. Jeder Akteur trifft zu jedem Zeitpunkt anhand seines ökonomischen Kalküls und seiner Vermeidungsmöglichkeiten/-kosten die Entscheidung, die Steuer zu bezahlen oder Vermeidung zu betreiben. Vermeidungsoptionen werden demnach jeweils insofern durchgeführt, als das sie günstiger sind als die Steuerzahlung (Abbildung 28). Dieses Kalkül ist für alle Betroffenen gleich, d.h. die Grenzvermeidungskosten bis zu denen Vermeidung durchgeführt werden, sind einheitlich.



Auf der x-Achse ist die Nachfrage nach F-Gasen abgebildet (in t CO_2-Äq.), auf der y-Achse der spezifische Steuersatz (€/t CO_2-Äq.)

Abbildung 28: Wirkung und Einnahmen einer Steuer

Die statische Effizienz ist ebenso auch beim Emissionshandelssystem gegeben (Hepburn 2006). Durch den Handel wird ein Preissignal generiert, der die Grenzvermeidungskosten aller Akteure ausgleicht und damit zu einer räumlichen (und bei Banking ggf. auch zeitlichen) Flexibilisierung der Vermeidungsaktivitäten führt.

Wie oben diskutiert, erreicht eine Steuer ein fest vorgegebenes, ökologisches Ziel, wenn die Steuerhöhe so gewählt wird, dass die Nachfragereaktion entsprechend der Grenzvermeidungskostenkurve zu exakt dieser Minderung führt (vgl. Abbildung 28). Hierzu ist perfekte Information über die aggregierten Grenzvermeidungskosten aller Akteure nötig. Sind die Grenzvermeidungskosten unsicher, so kann ein vorgegebenes Ziel nur über ein Festsetzen der Steuerhöhe nach dem Trial-and-Error-Prinzip erreicht werden. Ein Vorteil einer Steuer besteht darin, dass sie Staatseinnahmen erwirkt, die umverteilt werden können und eventuelle Ineffizienzen an anderer Stelle abbauen können (z.B. bei der Lohnsteuer oder den Sozialabgaben etc., vgl. Öko-Steuer).

Die Preiseffekte und damit die Kostenbelastung einer HFKW-Steuer hängen ganz entscheidend von der Durchleitung des Preissignals zu den Akteuren ab, bei denen die Vermeidungspotenziale liegen. Inwiefern die durch die Steuer induzierten Mehrkosten an die betreffenden Akteure weitergereicht werden kann, ist von mehreren Faktoren abhängig. Hierzu zählen die Höhe des Preissignals, die Anzahl der Stufen, über die dieses weitergeleitet werden muss, sowie die Marktform für die jeweiligen Akteure und die Elastizität von Nachfrage und Angebot. Dabei gilt, dass unvollkommener Wettbewerb, wie er im Fall der HFKW-Produzenten und –Importeure vorzufinden ist[81], nicht notwendigerweise zu einer höheren Überwälzung der Mehrkosten führt als vollkommener Wettbewerb, sondern dass die Akteure die höheren Belastungen tragen, die unelastischer auf Preisänderungen reagieren. Ein weiterer Aspekt bei der Überwälzung der Mehrkosten ist zudem die Anzahl und der Marktstufen, über die ein Preissignal jeweils weitergegeben werden muss (siehe Diskussion zu Abbildung 26 und Abbildung 27). Nur wenn das Preissignal in voller Höhe bei den Akteuren ankommt, die Möglichkeiten zur Vermeidung (in Form von Verhaltensänderungen, Nachfragereaktionen oder Alternativinvestitionen) haben, wird eine entsprechende effiziente Minderungsreaktion erzielt. Die jeweilige Höhe der Minderung hängt dann wie oben angedeutet von der Preiselastizität der Nachfrage und den Grenzvermeidungskosten eines Akteurs ab. Grundsätzlich gilt, bei unelastischer Nachfrage oder diffusem Preissignal wird die Steuer vom letzten Akteur der Wertschöpfungskette geschluckt, d.h. die höheren Kosten werden getragen, ohne dass hier eine wesentliche Nachfrageänderung bezüglich HFKW erfolgt.

Steuerszenarien für Deutschland

Für den konkreten Fall einer HFKW-Steuer in Deutschland wurde im Rahmen dieses Projekts eine Grenzvermeidungskostenkurve generiert, die die Nachfragereduktionen nach Bulkware in verschiedenen Anwendungen und ihre entsprechenden Kosten in Deutschland widerspiegelt.

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 29; Abbildung 30; Abbildung 31) zeigen diese Grenzvermeidungskostenkurve für 2030 und illustrieren die Wirkung einer Steuer auf HFKW in Höhe von 20, 30 und 40 €/t CO_2-Äq. bei einer vollen Durchleitung dieser

[81] Hier handelt es sich um ein Oligopol, d.h. es gibt wenige Anbieter aber viele Nachfrager.

Steuer ohne Ausnahmeregelungen. Eine HFKW-Nachfragereduktion ergibt sich genau in der Höhe, in der die Grenzvermeidungskosten den Steuersatz erreichen. Die ermittelte Nachfragereduktion reicht von 8,5 MT CO_2-Äq. bei einer Steuerhöhe von 20 €/t CO_2-Äq. bis 11,1 MT CO_2-Äq. bei einer Steuerhöhe von 40 €/t CO_2-Äq. Für die verbleibende Nachfrage mit höheren Grenzvermeidungskosten wird die Steuer bezahlt und entsprechende Steuereinnahmen generiert. Die Steuereinnahmen in den dargestellten Szenarien liegen je nach Steuerhöhe bei 163, 196 bzw. 226 Mio. €.

Eine besondere Situation besteht für die Anwendungssektoren, die sich rechts des senkrecht verlaufenden Asts der Grenzvermeidungskostenkurve befinden. Für diese Anwendungen existieren aufgrund von technischen Beschränkungen oder Potenzialbeschränkungen (noch) keine Vermeidungsmöglichkeiten und sie sind daher zunächst „reine“ Steuerzahler.

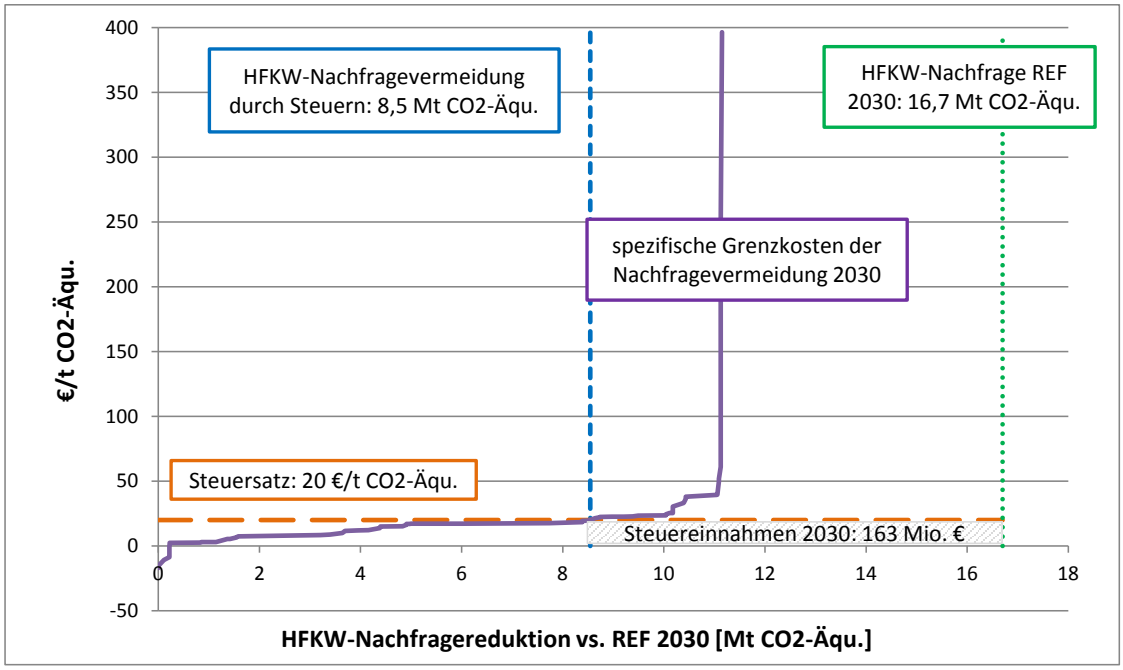


Abbildung 29: Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq.) bei voll wirksamem Preissignal für HFKW-Bulkware ohne Ausnahmen.

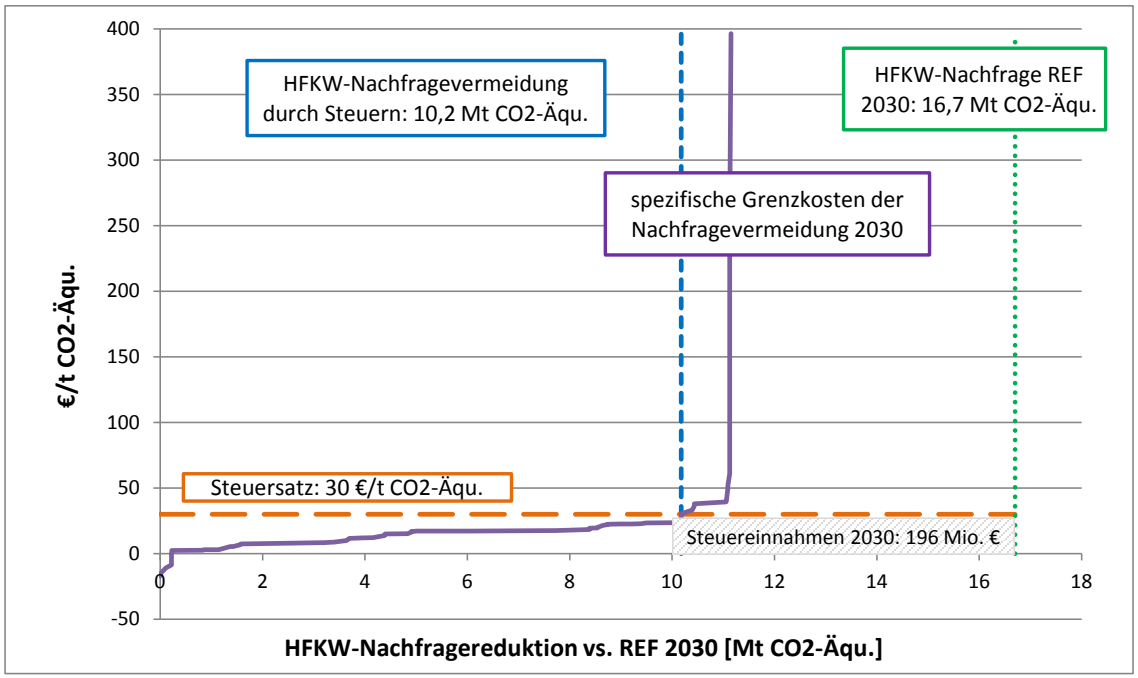


Abbildung 30: Steuerszenario für Deutschland (30 €/t CO_2-Äq.) bei voll wirksamem Preissignal für HFKW-Bulkware ohne Ausnahmen.

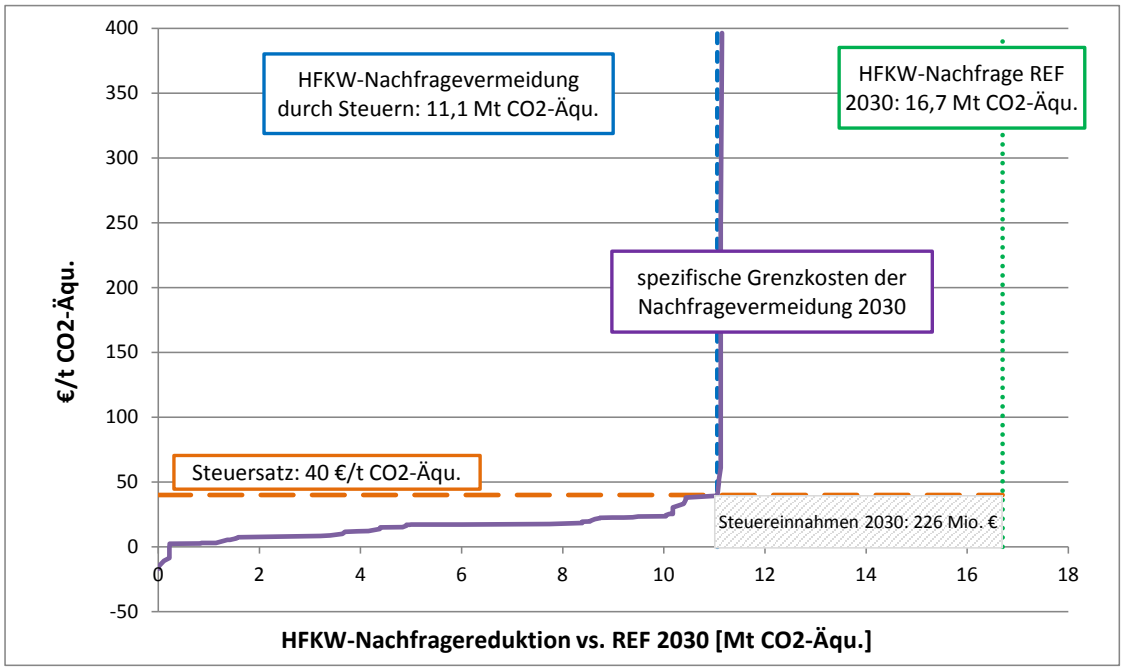


Abbildung 31: Steuerszenario für Deutschland (40 €/t CO_2-Äq.) bei voll wirksamem Preissignal für HFKW-Bulkware ohne Ausnahmen.

Ausnahmen

Wie weiter oben diskutiert, können für bestimmte Anwendungen Ausnahmen von der Steuer erwogen werden, z.B. in Fällen,

- in denen eine Steuer erheblich zu Produktionsverlagerungen ins Ausland (verbunden mit ‚Leakage' von Nachfrage und/oder Emissionen) anreizen könnte,

- in denen die Steuer weder eine Lenkungswirkung zu verfügbaren Alternativtechnologien aufweisen noch die Entwicklung von Alternativtechnologien anreizen würde,

und/oder

- in denen als unangemessen hoch eingeschätzte Kosten- bzw. Preissteigerungen für mit Hilfe von F-Gasen herstellten bzw. F-Gas enthaltende Produkte zu erwarten wären und wo deshalb unerwünschte Nebeneffekte bezüglich des Gebrauchs dieser Produkte zu befürchten wären.

Dies trifft am ehesten auf Schaumanwendungen zu, die eine hohe relative Belastung aufweisen und gut transportiert werden können.

In Abbildung 32 bis Abbildung 34 sind daher die gleichen Steuerhöhen (20, 30 und 40 €/t CO_2-Äq.) noch einmal mit Ausnahme für die Schaumanwendungen dargestellt. Die Vermeidungskostenkurven zeigen unter dieser Ausnahme einen gestauchten Verlauf. Die Grenzvermeidungskosten für die ausgenommenen Schaumanwendungen liegen größtenteils unter dem Steuersatz, die Belastung im Verhältnis zu dem Produktpreis ist jedoch beträchtlich. Dies impliziert, dass sich die durch die Steuer erzielte Nachfrageminderung um die ausgenommenen Anwendungen reduziert, jeweils um ca. 2 MT CO_2-Äq. (von 8,5 auf 6,6 MT CO_2-Äq. bei einem Steuersatz von 20 €/t CO_2-Äq., von 10,2 auf 8,2 MT CO_2-Äq.bei einem Steuersatz von 30 €/t CO_2-Äq. und von 11,1 auf 9,1 MT CO_2-Äq. bei einem Steuersatz von 40 €/t CO_2-Äq.). Die Steuereinnahmen gehen dem gegenüber nur sehr leicht zurück, da für den größten Teil der Schaumanwendungen Alternativtechnologien zur Verfügung stehen, die günstiger als die diskutierten Steuersätze sind.

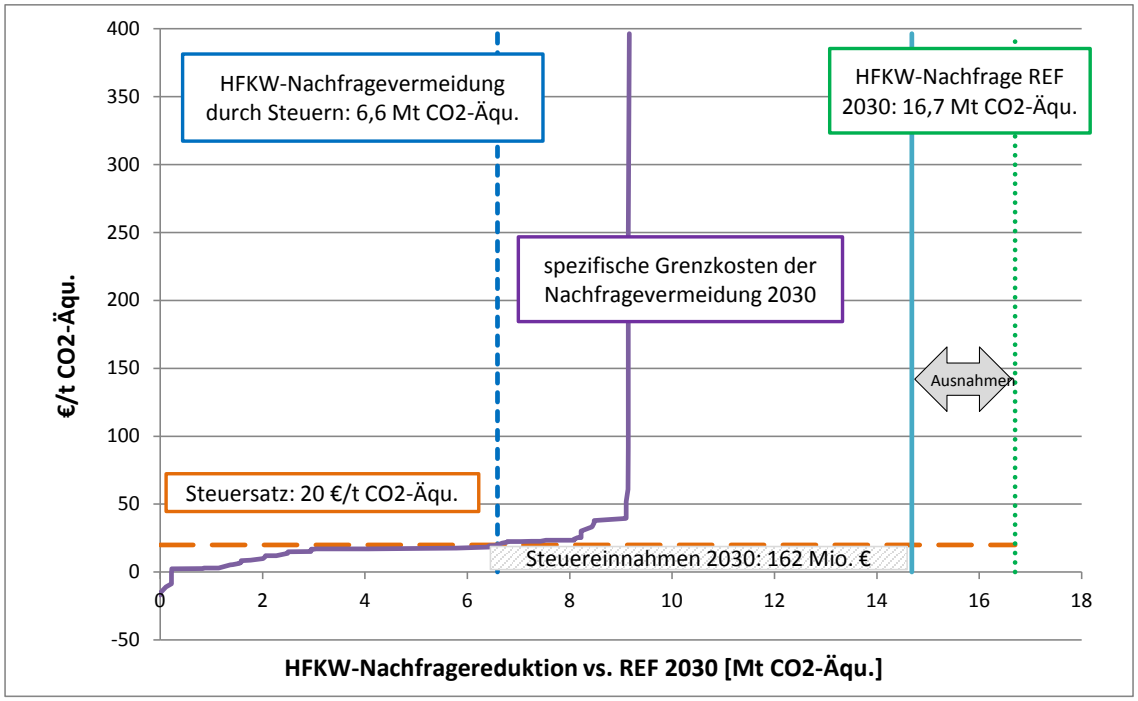


Abbildung 32: Steuerszenario für Deutschland (20 €/t CO_2-Äq.) bei voll wirksamem Preissignal für HFKW-Bulkware mit einer Ausnahme für Schaumanwendungen.

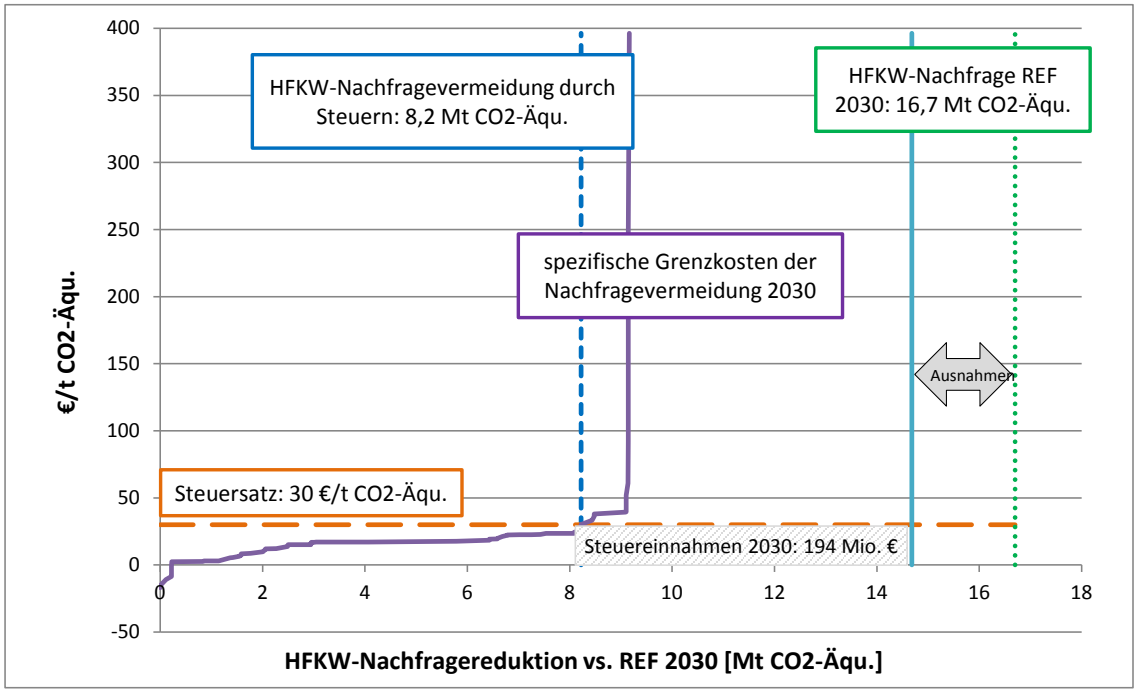


Abbildung 33: Steuerszenario für Deutschland (30 €/t CO_2-Äq.) bei voll wirksamem Preissignal für HFKW-Bulkware mit einer Ausnahme für Schaumanwendungen.

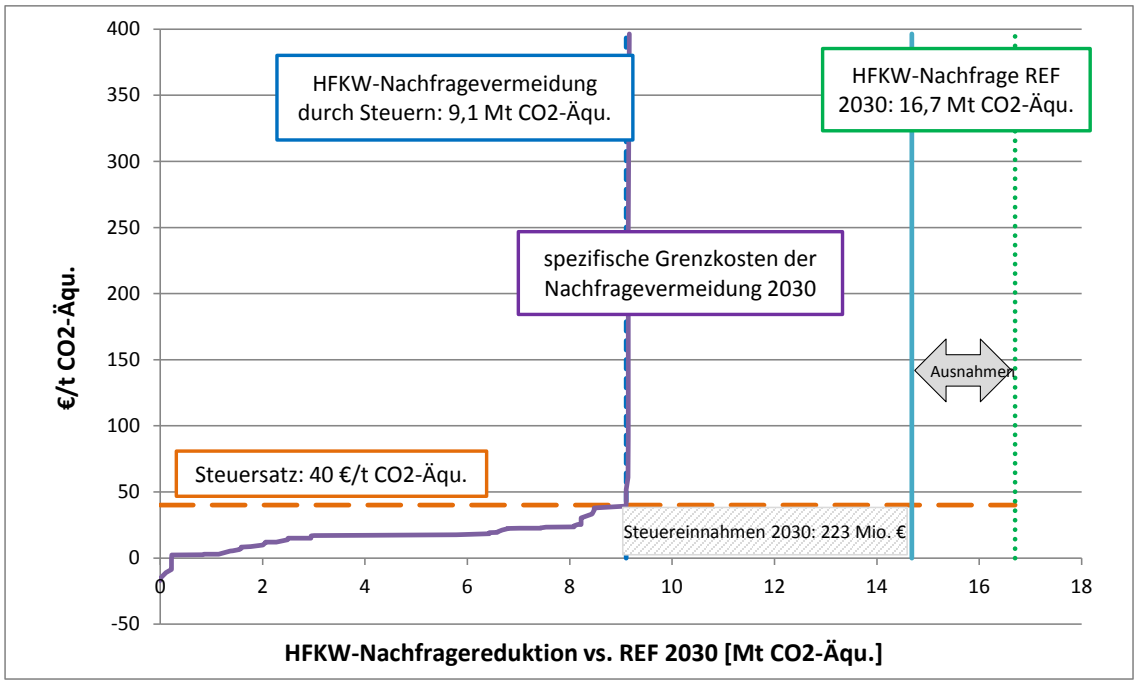


Abbildung 34: Steuerszenario für Deutschland (40 €/t CO_2-Äq.) bei voll wirksamem Preissignal für HFKW-Bulkware mit einer Ausnahme für Schaumanwendungen.

4.3.5.2.3 Innovationswirkung (dynamische Effizienz)

Neben der Frage nach der statischen Effizienz, ist auch die dynamische Anreizwirkung ein wichtiger Faktor für die Bewertung eines klimapolitischen Instruments. Sie untersucht inwieweit ein Instrument fähig ist, umwelttechnischen Fortschritt (Innovationsaktivitäten) zu induzieren. Dies basiert auf der Annahme, dass durch beschleunigten technischen Fortschritt bei einer hohen dynamischen Anreizwirkung die zukünftige Kosteneffizienz erhöht wird.

Die Betrachtung und Bewertung der dynamischen Anreizwirkung erfolgt dabei aus zwei Blickwinkeln: aus der Perspektive der Angebots- und der Nachfrageseite. Angebotsseitig werden Investitionen in Innovation und die Herstellung klimafreundlicher Technologien dann angestoßen, wenn die Produzenten davon ausgehen können, dass die Nachfrage nach diesen Produkten/Anlagen in Zukunft steigen wird. Nachfrageseitig ist die Adoption innovativer Technologien unter anderem davon abhängig, wie stark das Signal des politischen Instruments bei den Akteuren ankommt und wie langfristig und planbar es ausgelegt ist. Insbesondere bei Investitionen in langlebige, kapitalintensive Investitionsgüter spielt die Verlässlichkeit von politischen oder finanziellen Anreizen eine wichtige Rolle. Weiterhin wird die dynamische Anreizwirkung langfristig stark durch Verhaltensänderungen und neue Nutzungsgewohnheiten von Technologien und Gasen beeinflusst.

Im Kontext HFKW-Steuer ist daher relevant, welcher Akteur inwiefern befördert wird, Innovation zu betreiben (Kälteanlagenbauer, Hersteller von Produktionsanlagen, Produkthersteller (Schaumhersteller, Pharmazeutische Industrie etc.), Betreiber, Bauherren, Gebäudeinhaber, Endverbraucher durch Investitionen oder langfristige Verhaltensänderungen). In diesem Zusammenhang spielt zum einen die Durchleitung der Kosten eine wesentliche Rolle (wie auch für die statische Kosteneffizienz) und zum anderen die Wirkung der Durchleitung bei den verschiedenen Akteuren. Wie oben beschrieben, spielt die Nachfrage nach umweltfreundlichen Produkten und Technologien eine wesentliche Rolle für die Beförderung von Innovationen und technischem Fortschritt auf der Angebotsseite. Nur wenn das durchgeleitete Preissignal eine nachhaltige und ausreichende Nachfrageänderung mit sich bringt, kann durch diese Nachfrageänderung ein Impuls für Innovationen auf der Angebotsseite ausgestrahlt werden.

Die Wirkkette für Innovationen, die damit über den Nachfrager (Endverbraucher oder Endkunden, Investor, Bauherr, Baustoffhandel o.ä. wie in Abbildung 26 und Abbildung 27 dargestellt) zurück zum Anlagenbauer oder Hersteller von Produktionsanlagen reicht, ist dabei recht komplex und unterliegt der Gefahr, dass der Impuls nicht klar transportiert werden kann. Komplementäre Instrumente, die direkter auf die Innovation und die Herstellung klimafreundlicher Technologien zielen, können hier von Nutzen sein. Das World Resources Institute (WRI) beschreibt solch komplementäre Instrumente in seinem Bericht über FCKW-Regulierung in den USA, der hier aufgrund der ähnlichen Situation der HFKW herangezogen werden kann: "*For example, where markets were diffuse or where consumers had trouble getting information, additional regulatory and government-led consumer education efforts were needed. To get the word out on mobile air-conditioners in automobiles, for instance, government had to solicit industry's voluntary cooperation in informing car-*

owners and a vast network of service shops about the need to recycle or replace CFCs, fix leaky systems, and not vent chemicals into the atmosphere." (WRI 1996 S.35).

Zur Illustration ein Beispiel aus dem Bereich der in Produkten enthaltenen HFKW, hier Wärmepumpen-Wäschetrockner: Eine Besteuerung von HFKW wirkt über den Wäschetrocknerhersteller zum Kunden, der in der Folge aufgrund des Signals entsprechend weniger Wäsche trocknen kann oder bei Neuanschaffung des Wäschetrockners auf HFKW-freie Versionen umschwenken kann. Ob eine Verbraucherreaktion (Lenkungswirkung) aufgrund des Preissignals stattfindet, hängt letztendlich von der Preissteigerung ab, die der Verbraucher erfährt und seiner entsprechenden Nachfragereaktion (Nachfrageelastizität). Wie in Abbildung 19 dargelegt, ist die Kostensteigerung im Bereich der Wärmepumpen-Wäschetrockner beispielsweise bei einer Steuer in Höhe von 20 €/t CO_2-Äq. mit unter 2% gering[82]. Die Wahrnehmung und Zuordnung durch den Verbraucher kann, insbesondere auch im Verhältnis zu anderen Preiseinflüssen und –schwankungen, als zweifelhaft eingestuft werden. Ob damit auch ein ausreichendes Signal an den Wäschetrocknerhersteller im oberen Bereich der Wertschöpfungskette generiert wird (vergleiche Abbildung 27), in neue innovativere Trockner ohne HFKW zu investieren, bleibt fraglich. In der kurzen Frist sind daher erwünschte Wirkungen in Form von möglichen Änderungen der Investitionsentscheidung des Verbrauchers nur in Abhängigkeit der Höhe des Preissignals und der individuellen Nachfragereaktionen zu erwarten, für Innovationen auf der Herstellerseite in der langen Frist kann das Instrument jedoch nicht unbedingt ausreichende Wirkungen entfalten und komplementäre Instrumente, wie z.B. Innovationsförderung, sind sinnvoller- und legitimerweise in Betracht zu ziehen.

Positive Innovationsimpulse auf jeder Wertschöpfungsstufe können allerdings im Rahmen einer Steuer dadurch erzielt werden, dass Minderungsaktivitäten zu einer Verringerung der Steuerbelastung führen und damit den Gewinn oder das verfügbare Einkommen der Akteure erhöhen. Damit stehen mehr Ressourcen für Forschung und Entwicklung zur Verfügung. Darüber hinaus kann der Staat die Steuereinnahmen ebenfalls in Forschung und Entwicklung investieren und damit zu weiteren langfristigen Minderungen beitragen.

Im Zusammenhang mit dem FCKW-Ausstieg unter dem Montrealer Protokoll wurde in den USA explizit entschieden, das Preissignal durch die Steuer mit Investitionen in Forschung zu verbinden: "*EPA also worked hard in promoting research on CFC alternatives and disseminating the results. By linking the availability of substitutes to a price signal that makes adopting them economically advantageous, policy-makers made both programs more effective. On balance, then, the tax, regulatory, and research measures together caused a more powerful response than any of the three would have alone.*" (WRI 1996 S.49)

4.3.5.2.4 Struktur- und Wettbewerbswirkung

Unter Struktur- und Wettbewerbswirkungen sind Wirkungen zu verstehen, die durch die Veränderung der Marktakteure (bspw. Akteure, die neu bzw. zusätzlich auf den Markt kommen) oder aufgrund von Verzerrung der Wettbewerbsbedingungen ergeben

[82] Bei einem Anschaffungswert eines Wärmepumpentrockners in Höhe von 500-1000 Euro wären dies nur 20 Euro.

(z.B. Nichtgleichbehandlung, Spekulationsmöglichkeiten oder Produktions- bzw. Nachfrageverlagerung von Akteuren) entstehen können.

Treten neue Akteure auf den Markt, deren Wirtschaftsaktivität von HFKW abhängt und die die Nachfrage erhöhen, so muss die Steuer, um das gleiche Minderungsziel zu erreichen, erhöht werden. Dies schließt einen langwierigen Gesetzgebungsprozess ein, der auf Widerstand der Betroffenen stößt. In diesem Sinne bietet eine Steuer keine flexible Option sollte zu erwarten sein, dass Neuanlagen oder –akteure den Markt durchdringen wollen. Dies steht insbesondere im Vergleich zu einem Emissionshandelssystem, in dem die Mengenbeschränkung die Nachfrage von Neulingen über den Preis des Zertifikats ohne politische Intervention bzw. Anpassung des Systems regelt. In Bezug auf die Wettbewerbswirkung stellt eine HFKW-Steuer eine Gleichbehandlung aller Akteure sicher, da alle die gleichen Grenzvermeidungskosten haben. Auch neue Akteure unterliegen der Steuer und haben damit die gleichen Voraussetzungen wie bereits bestehende Akteure am Markt.

Spekulationsmöglichkeiten können insofern bestehen, als dass Unternehmen einen Anreiz haben können in bestehende Technologien zu investieren, unter der Annahme, dass die Mehrheit der anderen Unternehmen auf neue Gase/Technologien umsteigt und damit die Nachfrage und die Preise für die herkömmlichen Gase derart fallen, dass trotz der Steuer auf diese Gase die Investition wirtschaftlich ist. Offen ist allerdings, wie groß die Wahrscheinlichkeit für solches Free-rider Verhalten sein kann und wie groß der negative Effekt auf die Emissionswirkung[83]. In einem Wettbewerbsmarkt wäre zudem zu erwarten, dass sich der Preis für HFKW aus dem Ausgleich von Angebot und Nachfrage ergibt und damit auch das Angebot an herkömmlichen Gasen bei einer solchen Situation reduziert werden würde, so dass die Preise für herkömmliche Gase in Folge dessen steigen. Nur wenn Unternehmen versuchen in Reaktion auf die Ankündigung einer Steuer schnell alles zu verkaufen, kann der im vorigen Absatz beschriebene Preis-dumping-Effekt auftreten.

Ein weiterer Wettbewerbseffekt wäre die Verlagerung von Produktion, Investitionen oder Nachfrage ins Ausland. Das Risiko für dieses sogenannte Leakage ist in den Fällen am höchsten, in denen die HFKW bedingten Zusatzkosten im Verhältnis zu den Produktions- oder Produktkosten hoch sind (Kostenintensität) und gleichzeitig die mit HFKW gefüllten Produkte oder Produkte mit gebundenen HFKW transportierbar sind (Handelsintensität). Unter diesen Umständen können Produkte im Ausland ohne Steuerpflicht günstiger produziert und gefüllt bzw. als Endprodukt nach Deutschland importiert. Die detaillierte Analyse in Abschnitt 4.3.5.1.6 zeigt, dass dies insbesondere auf Schaumanwendungen und auf Schutzgase für Magnesiumproduktion zutrifft. Wie oben erläutert werden für Schaumanwendungen Ausnahmen von der Steuerpflicht untersucht.

4.3.5.2.5 Beschäftigungseffekte

Die HFKW-Steuer beeinflusst auf mehreren Stufen Arbeitsplätze in Deutschland[84] (Abbildung 35). Zum einen werden in einzelnen Sektoren zusätzliche Investitionen

[83] In Deutschland spielt hier auch der Gesichtspunkt eine Rolle, dass auf europäischer Ebene ein festes Minderungsziel zu erwarten ist.

[84] Arbeitsplätze sind hier und im Folgenden äquivalent mit Vollzeitbeschäftigten.

vorgenommen (z.B. neue Anlagen), bzw. die Nachfrage nach bestimmten Produkten gesteigert (z.B. alternative Gase). Zum anderen sinkt die Nachfrage in anderen Bereichen (z.B. nach HFKW, Wartungsleistungen oder elektrischer Energie). Des Weiteren ist zu erwarten, dass die mit der HFKW-Steuer verbundenen Kosten an die Verbraucher weitergegeben werden, denen dann weniger Einkommen zur Verfügung steht. Dadurch verringert sich die Nachfrage der Verbraucher nach bestimmten Gütern. Aufgrund des diffusen Preissignals kann diese Nachfrageveränderung aber den HFKW-bezogenen Aktivitäten nicht direkt zugerechnet werden (siehe Abschnitt 4.3.5.2). Außerdem kann der Staat zusätzliche Arbeitsplätze schaffen, indem Steuereinnahmen wieder in die Volkswirtschaft investiert werden.

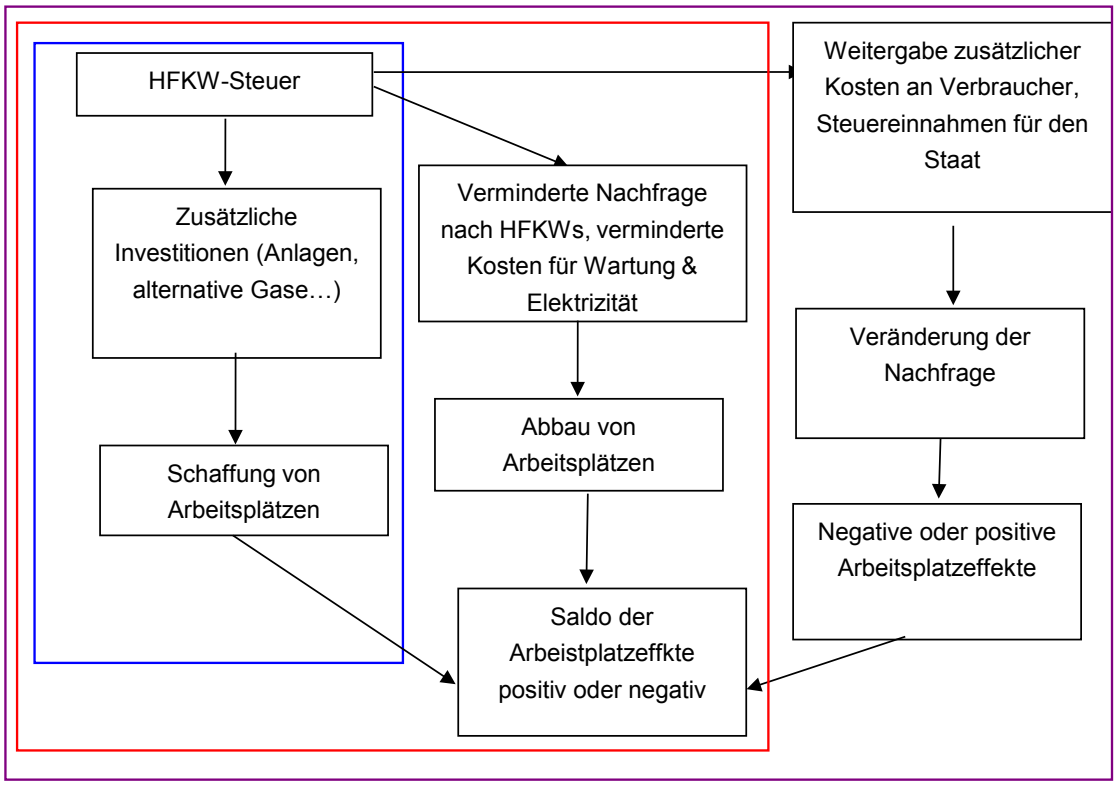


Abbildung 35: Ökonomische Mechanismen bei Schaffung und Abbau von Arbeitsplätzen durch eine HFKW-Steuer. Quelle: Eigene Darstellung nach Quirion und Demailly (2008).

Die Arbeitsplatzeffekte werden mit dem Modell EmIO-Deutschland berechnet (siehe Anhang, Kapitel 7.2). EmIO-Deutschland ist ein Input-Output Modell der gesamten deutschen Volkswirtschaft mit einem expliziten Arbeitsplatzmodul. EmIO-Deutschland basiert auf den Input-Output Tabellen, die jedes Jahr als Teil der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) vom Statistischen Bundesamt veröffentlicht werden.[85] Es werden Arbeitsplatzeffekte der HFKW-Steuer im Vergleich zum Referenzszenario in 2030 in allen Sektoren berechnet, wobei die Verflechtungen

[85] https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/VGR/InputOutputRechnung/InputOutputRechnung.html; die neueste Veröffentlichung umfasst das Jahr 2009. Es wurde entschieden für dieses Projekt mit Daten des Jahres 2008 zu arbeiten, da das Jahr 2009 auf Grund der Wirtschaftskrise nicht als repräsentativ angesehen werden kann.

der Volkswirtschaft und insbesondere Vorleistungen aus anderen Sektoren berücksichtigt werden.

Im Modell sind 73 Wirtschaftszweige dargestellt (basierend auf der Wirtschaftszweig-Klassifikation von 2008).[86] Durch die HFKW-Steuer entstehen (positive oder negative) Impulse in den Sektoren Maschinen, chemische Industrie (Gase und zusätzliches Material für Schäume), Reparatur, Instandhaltung und Installation und elektrische Energie. Des Weiteren wird angenommen, dass die durch die Steuer zusätzlich verursachten Kosten an die Verbraucher weitergegeben werden, die ihre Nachfrage proportional in allen Sektoren verringern (basierend auf den Ausgaben privater Haushalte im Jahr 2008). Darüber hinaus wird angenommen, dass der Staat zusätzliche Steuereinnahmen analog seiner Ausgaben im Jahr 2008 in die Volkswirtschaft zurückinvestiert.

Es werden nur in Deutschland erstbefüllte Geräte in die Berechnung miteinbezogen, da die betrachteten Steuerszenarien keine Besteuerung im Ausland vorgefüllter Mengen beinhalten (vgl. 4.3.5.1.3). Außerdem wird berücksichtigt, dass nicht alle der in Deutschland erstbefüllten Geräte auch im Inland produziert werden und deshalb nicht der volle Beschäftigungsimpuls auf den Maschinensektor in Deutschland wirkt. Des Weiteren wird miteinbezogen, dass nur ca. 80% der in Deutschland verwendeten Gase aus deutscher Produktion stammen und deshalb nur 80% des auf die Gasnachfrage bezogenen Impulses Einfluss auf Arbeitsplätze in der chemischen Industrie in Deutschland hat, während Konsumenten in beiden Fällen die vollen Kosten zu tragen haben.

Es handelt sich um eine komparativ-statische Analyse. Dies bedeutet, dass dynamische Entwicklungen der Wirtschaftszweige und ihrer Beziehung zueinander, sowie der Ausgaben privater Haushalte und des Staates nicht berücksichtigt werden können. Die Referenzentwicklung und Steuerszenarien werden also auf Basis der heute vorliegenden Daten miteinander verglichen.

4.3.5.3 Vergleich der Steuerszenarien

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen einige zentrale Bewertungsparameter für die verschiedenen diskutierten Steuerszenarien (Steuersätze 20/30/40 €/t CO_2-Äq., mit und ohne Ausnahmen für Schaumanwendungen) im Jahr 2030, im Vergleich zum Ausgangspunkt 2010 sowie dem Referenzszenario (REF) 2030 und dem Minimalszenario (MIN) 2030. Das Referenzszenario schreibt den rechtlichen Status-quo (im Wesentlichen definiert durch die EU-F-Gase-Verordnung, die europäische Automobilklimaanlagen-Richtlinie (MAC-Richtlinie) und die deutsche Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung) fort. Im Minimalszenario (MIN-Szenario) wird die Umsetzung aller im Modell verfügbaren Alternativtechnologien angenommen, deren Kosten zur Emissionsvermeidung den Schwellenwert von 50 €/t CO_2-Äq. nicht überschreiten.

Eine tabellarische Übersicht der berechneten Parameter findet sich im Anschluss in Tabelle 28.

86 https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftklassifikationen/Content75/KlassifikationWZ08.html

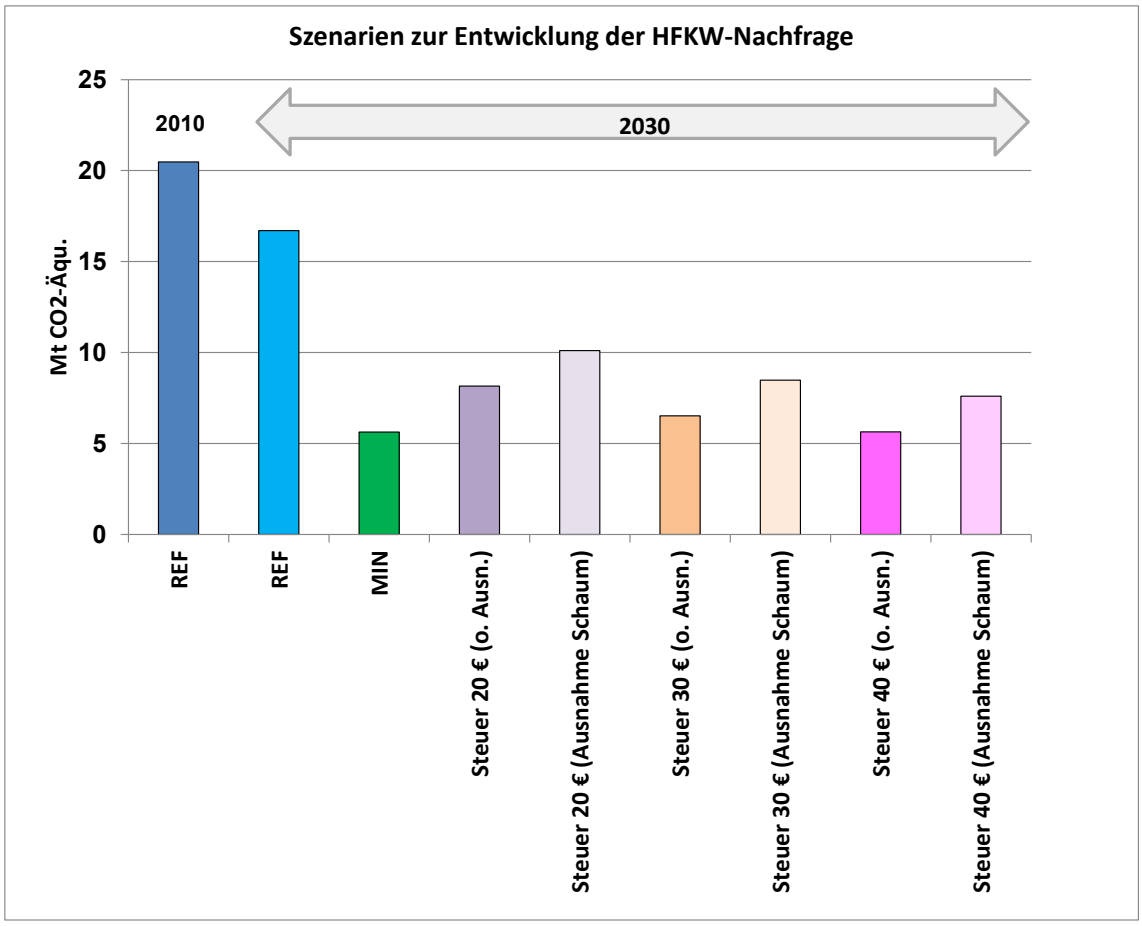


Abbildung 36: Szenariovergleich Nachfrage

Für den Parameter HFKW-Nachfrage (Abbildung 36) erreichen die Steuerszenarien ca. 60 % (Steuer 20 € mit Ausnahmen Schaum) bis fast 100 % (Steuer 40 € ohne Ausnahme) des Potenzials das MIN-Szenarios (berechnet als Minderung gegenüber dem REF-Szenario im Jahr 2030).

Für den Parameter Emissionen (Abbildung 37) sind die entsprechenden Prozentsätze mit 47 % bis 74 % deutlich geringer.

Dieser Unterschied ist darin begründet, dass in den Steuerszenarien kein Einfluss auf diejenigen HFKW-Mengen angenommen wurde, die in Geräten enthalten nach Deutschland importiert werden. Diese HFKW-Mengen zählen nicht zur deutschen HFKW-Nachfrage, werden aber trotzdem in Deutschland emissionsrelevant. Dementsprechend liegen die verschiedenen Steuerszenarien bei den HFKW-Emissionen 2030 relativ näher beieinander als dies für den Parameter der HFKW-Nachfrage der Fall ist.

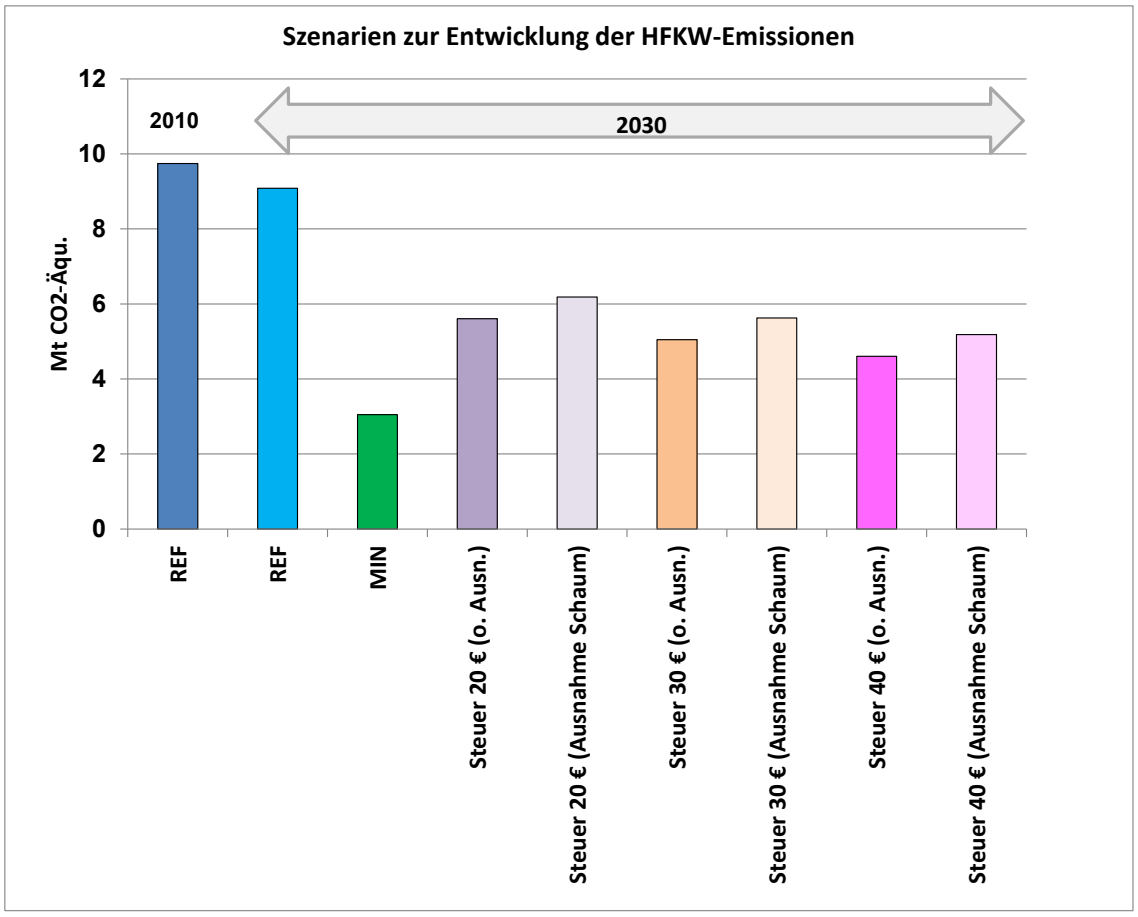


Abbildung 37: Szenariovergleich Emissionen

Die von den Anlagenbetreibern bzw. Verbrauchern zu tragenden Kosten (Abbildung 38) setzen sich zusammen aus den technischen Substitutionskosten die anfallen, wenn HFKW-freie Alternativtechnologien gewählt werden. In den Steuerszenarien fallen zudem für die verbleibende, nicht durch Alternativtechnologien substituierte und nicht von Ausnahmeregelungen erfasste HFKW-Nachfrage Steuern an, welche im Übrigen bei den gewählten Steuersätzen die technischen Substitutionskosten in der Summe deutlich übersteigen[87], aber in verschiedenen Anwendungssektoren anfallen.

[87] Dies liegt an dem relativ hohen Anteil von Restnachfrage, für die im Modell keine Alternativtechnologien angenommen wurden (vgl. die Kostenkurven).

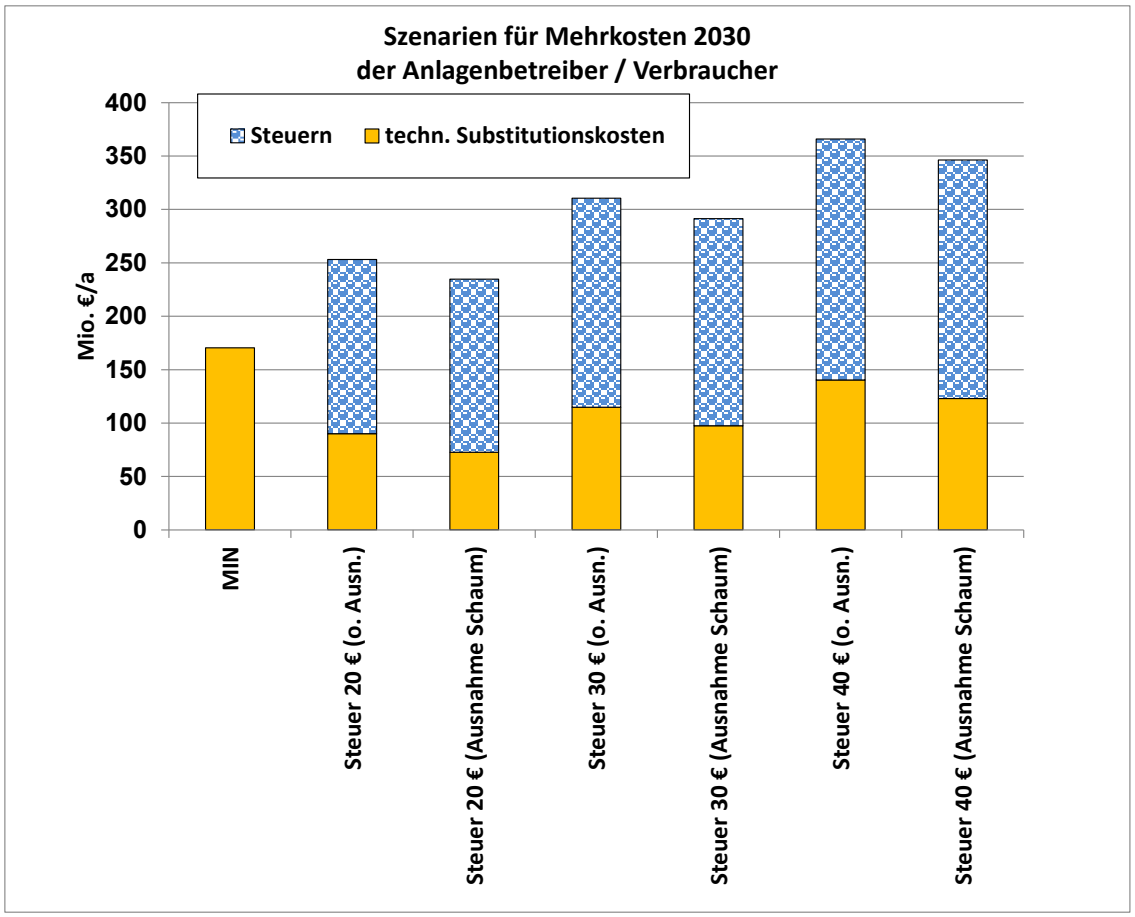


Abbildung 38: Vergleich der Szenarien: Kosten

Für den Parameter der technischen Substitutionskosten werden in den Steuerszenarien ca. 42 % (Steuer 20 € mit Ausnahmen Schaum) bis 82 % (Steuer 40 € ohne Ausnahme) des Benchmarks des MIN-Szenario berechnet. Das Verhältnis zwischen Steuern und technischen Substitutionskosten innerhalb der Steuerszenarien ist mit ca. 2,3 am größten im Szenario für eine Steuer 20 € mit Ausnahme Schaum und mit 1,7 am kleinsten im Szenario für eine Steuer 40 € ohne Ausnahmen.

Die Beschäftigungseffekte sind im Saldo in allen Szenarien positiv. Es werden 1.700 bis 2.400 zusätzliche Erwerbstätige im Jahr 2030 im Vergleich zur Referenz berechnet, was ca. 0,01% der Gesamterwerbstätigen in Deutschland im Jahr 2008 entspricht.

Abbildung 39 stellt die einzelnen Treiber für Arbeitsplatzeffekte im Rahmen der HFKW-Steuer dar. Balken im positiven Bereich stehen für neue Arbeitsplätze, während die Balken im negativen Bereich eine Beschäftigungsreduktion darstellen. Es wird deutlich, dass sich zusätzliche Investitionen, besonders im Maschinensektor, sowie zusätzliche Staatsausgaben in Folge der HFKW-Steuereinnahmen positiv auswirken, während sich geringere Betriebsausgaben für Reparaturen, Instandhaltung, Energie und Material sowie die reduzierte Nachfrage der privaten Haushalte negativ auf die Arbeitsplätze auswirken. Der Saldo aus den einzelnen Effekten ist jeweils als gelbe Raute dargestellt und durchweg positiv.

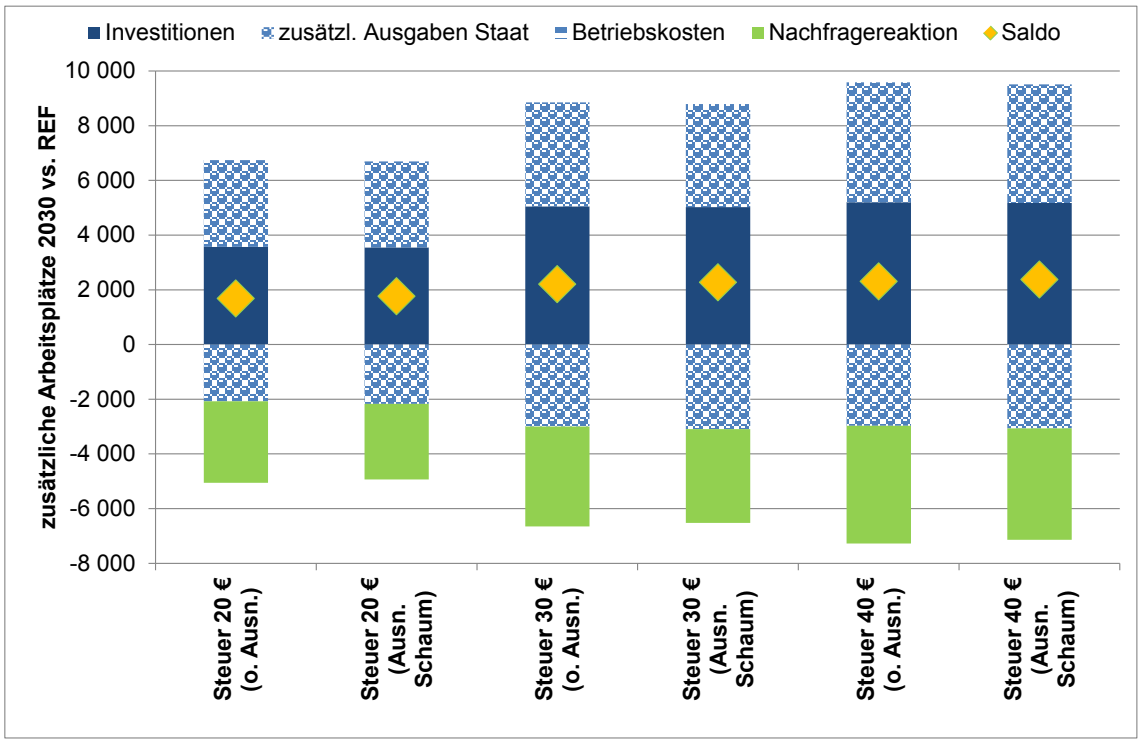


Abbildung 39: Vergleich der Szenarien: Beschäftigungseffekte

Tabelle 28: Tabellarische Übersicht über Bewertungsparameter der Steuerszenarien

		REF	MIN	HFKW-Steuer-Szenario #1 (20 €, keine Ausnahmen)	HFKW-Steuer-Szenario #1a (30 €, keine Ausnahmen)	HFKW-Steuer-Szenario #1b (40 €, keine Ausnahmen)	HFKW-Steuer-Szenario #2 (20 €, Ausnahme Schaum)	HFKW-Steuer-Szenario #2a (30 €, Ausnahme Schaum)	HFKW-Steuer-Szenario #2b (40 €, Ausnahme Schaum)
Nachfrage 2010	Mt CO2-Äqu.	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5
Nachfrage 2030	Mt CO2-Äqu.	16.7	5.6	8.2	6.5	5.6	10.1	8.5	7.6
Nachfragereduktion 2010-2030	Mt CO2-Äqu.	-3.8	-14.9	-12.3	-14.0	-14.8	-10.4	-12.0	-12.9
	% REF 2010	-18%	-73%	-60%	-68%	-72%	-51%	-59%	-63%
	% MIN	25%	100%	83%	94%	100%	70%	81%	87%
Nachfragereduktion 2030 vs. REF	Mt CO2-Äqu.		-11.1	-8.5	-10.2	-11.1	-6.6	-8.2	-9.1
	% REF 2030		-66%	-51%	-61%	-66%	-39%	-49%	-55%
	% MIN		100%	77%	92%	100%	60%	74%	82%

		REF	MIN	HFKW-Steuer-Szenario #1 (20 €, keine Ausnahmen)	HFKW-Steuer-Szenario #1a (30 €, keine Ausnahmen)	HFKW-Steuer-Szenario #1b (40 €, keine Ausnahmen)	HFKW-Steuer-Szenario #2 (20 €, Ausnahme Schaum)	HFKW-Steuer-Szenario #2a (30 €, Ausnahme Schaum)	HFKW-Steuer-Szenario #2b (40 €, Ausnahme Schaum)
Emissionen 2010	Mt CO2-Äqu.	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
Emissionen 2030	Mt CO2-Äqu.	9.1	3.0	5.6	5.0	4.6	6.2	5.6	5.2
Emissionsreduktion 2010-2030	Mt CO2-Äqu.	-0.7	-6.7	-4.1	-4.7	-5.1	-3.6	-4.1	-4.6
	% REF 2010	-7%	-69%	-42%	-48%	-53%	-37%	-42%	-47%
	% MIN	10%	100%	62%	70%	77%	53%	61%	68%
Emissionsreduktion 2030 vs. REF	Mt CO2-Äqu.		-6.0	-3.5	-4.0	-4.5	-2.9	-3.5	-3.9
	% REF 2030		-66%	-38%	-44%	-49%	-32%	-38%	-43%
	% MIN		100%	58%	67%	74%	48%	57%	65%

Kosten		REF	MIN	HFKW-Steuer-Szenario #1 (20 €, keine Ausnahmen)	HFKW-Steuer-Szenario #1a (30 €, keine Ausnahmen)	HFKW-Steuer-Szenario #1b (40 €, keine Ausnahmen)	HFKW-Steuer-Szenario #2 (20 €, Ausnahme Schaum)	HFKW-Steuer-Szenario #2a (30 €, Ausnahme Schaum)	HFKW-Steuer-Szenario #2b (40 €, Ausnahme Schaum)
Nachfrage-vermeidungs-Grenzkosten 2030	€/t CO2-Äqu. (Nachfrage)		**50**	**20**	**30**	**40**	**20**	**30**	**40**
Substitutionskosten Betreiber vs. REF	Mio. €/a		170	90	115	140	73	98	123
	% MIN		100%	53%	67%	82%	43%	57%	72%
HFKW- Zertifikate/ Steuern 2030	Mio. €/a			163	196	226	162	194	223
Gesamtkosten Betreiber vs. REF	**Mio. €/a**			**253**	**310**	**366**	**235**	**291**	**346**
	% REF 2030			sektorale Ergebnisse	sektorale Ergebnisse	sektorale Ergebnisse	sektorale Ergebnisse	sektorale Ergebnisse	sektorale Ergebnisse

Arbeitsplätze			HFKW-Steuer-Szenario #1 (20 €, keine Ausnahmen)	HFKW-Steuer-Szenario #1a (30 €, keine Ausnahmen)	HFKW-Steuer-Szenario #1b (40 €, keine Ausnahmen)	HFKW-Steuer-Szenario #2 (20 €, Ausnahme Schaum)	HFKW-Steuer-Szenario #2a (30 €, Ausnahme Schaum)	HFKW-Steuer-Szenario #2b (40 €, Ausnahme Schaum)
zusätzl.Arbeitsplätze 2030 vs. REF	Erwerbstätige (in 1000)		1.7	2.2	2.3	1.8	2.3	2.4

Für sektorale Ergebnisse siehe Kapitel 4.3.5.1.7.

4.3.5.4 Zusammenfassende Bewertung einer HFKW-Steuer als eigenständige nationale Maßnahme

Diese Bewertung gilt für den Fall, dass der aktuelle EU Phase down Vorschlag scheitern sollte und keine ähnliche Revision der EU-F-Gase-Verordnung verabschiedet wird.

Steuern sind prinzipiell ein geeignetes Instrument, um technisch leicht verfügbare Potenziale zur Vermeidung von F-Gas Nachfrage zu heben. Dies wird durch Erfahrungen aus mehreren Ländern gestützt.

Mit einer Größenordnung der erwarteten Steuereinnahmen von ca. 200 Mio. € pro Jahr (je nach Szenario wurden 162 bis 226 Mio. € für 2030 berechnet) wäre das Steueraufkommen vergleichsweise gering. Trotzdem wäre zur Wahrung der Steuergerechtigkeit eine flächendeckende Kontrolle notwendig, was die Nettoeinnahmen weiter deutlich reduzieren würde. Der ausschließliche Einführungsgrund einer solchen Steuer wäre somit der politische Wille zum Klimaschutz.

Eine F-Gas-Steuer sollte als HFKW-Steuer implementiert werden, ohne Berücksichtigung von FKW und SF_6. Eine Steuer sollte auf die Produktion und den Import von Bulkware beschränkt werden, um den administrativen Aufwand überschaubar zu halten. Der Export von Bulkware sollte von der Steuerpflicht abgezogen werden. Die Steuer beträfe somit die in Verkehr gebrachte HFKW-Bulkware. Als Steuerpflichtige sollten Produzenten und Importeure von HFKW festgelegt werden. Als Bemessungsgrundlage eignet sich die Masse der in Verkehr gebrachten HFKW, umgerechnet in t CO_2-Äq. mit Hilfe der GWP_{100} des 4. IPCC Assessment Report.

Grundsätzlich wäre eine Besteuerung von vorbefüllten HFKW-Mengen sinnvoll, damit die Steuer ihre volle Lenkungswirkung entfalten kann und Schlupflöcher, wie ein Ausweichen auf Importprodukte (Leakage), vermieden werden. Das Ausmaß dieser Ausweichreaktion hängt maßgeblich davon ab, ob es für die jeweilige Anwendung möglich ist, Teile von Anlagen vorzubefüllen und zu importieren (Produktionsstrukturen, geographische Verteilung der Hersteller und Märkte (Europa oder außerhalb), Transportabilität, -kosten) oder ob die Anlagen als komplexe Systeme erst komplett installiert werden müssen und dann vor Ort befüllt werden. Allerdings ist der Verwaltungsaufwand, alle Importeure (auch die von vorbefüllten Geräten oder Teilanlagen) in das Steuersystem aufzunehmen nicht praktikabel, da damit der Kreis der zu erfassenden und überwachenden besteuerten Akteure um ein Vielfaches wachsen würde.

Ausnahmen von der Steuer könnten für bestimmte Anwendungen erwogen werden. Insbesondere für Schaumanwendungen könnten Wettbewerbsverzerrungen mit ausländischen Importen zu befürchten sein. Aus juristischer Sicht müsste allerdings jede Ausnahme von der Besteuerung genau begründet sein, da sie im Rahmen des EU-Rechts als nationale Beihilfe bewertet werden könnte. Darüber hinaus müssen Ausnahmen in der Praxis auch kontrollierbar sein. Dies kann in einem vielschichtigen Markt, wie dem des HFKW-Handels, mit sehr hohem Kontroll- und Verwaltungsaufwand verbunden sein. Ebenso wäre eine Besteuerung von importierten Produkten administrativ äußerst aufwändig. Alternativ zur Besteuerung von importierten

Schaumprodukten könnten hier spezifische Verbote für HFKW-haltige Schäume erlassen werden.

Die berechneten Steuerszenarien mit Steuersätzen von 20, 30 bzw. 40 €/t CO_2-Äq. würden zu erheblichen Rückgängen der HFKW-Nachfrage und HFKW-Emissionen im Vergleich zur Referenzentwicklung ohne weitere Maßnahmen führen. Eine HFKW-Steuer ist jedoch nicht ökologisch treffsicher, in dem Sinne, dass sie ein gewünschtes ökologisches Ziel genau erreicht. Durch Anpassung der Steuerhöhe (Trial-and-error-Prozess) kann ein gewünschtes Ziel genau erreicht werden, in der Praxis ist ein solcher iterativer Steueranpassungsprozess jedoch langwierig und rechtlich schwierig.

Die dynamische Anreizwirkung (Innovationswirkung), die langfristig die Kosteneffizienz erhöht, spielt eine wesentliche Rolle in der Bewertung. Angebotsseitig werden Investitionen in Innovation und die Entwicklung neuer klimafreundlicher Technologien dann angestoßen, wenn die Produzenten davon ausgehen können, dass die Nachfrage nach diesen Produkten/Anlagen in Zukunft steigen wird. Nachfrageseitig ist die Adoption innovativer Technologien wiederum davon abhängig, wie stark das Signal des politischen Instruments bei den Akteuren ankommt und wie langfristig und planbar es ausgelegt ist. Die Wirkkette für Innovationen im Bereich der HFKW, die über den Nachfrager (Endverbraucher oder Endkunden, Investor, Bauherr, Baustoffhandel o.ä.) zurück zum Anlagenbauer oder Entwickler von Produktionsanlagen reicht, ist dabei recht komplex und unterliegt der Gefahr, dass der Impuls nicht klar transportiert werden kann.

Um Innovation (Entwicklung neuer Technologiekonfiguration und breite Verfügbarkeit von bisher nur vereinzelt getesteten Technologiekonfigurationen) zu befördern sind jedoch komplementäre Fördermaßnahmen sinnvoll, z.B. Forschungs- und Innovationsförderung, -Information und Weiterbildung von Personal und Fachfirmen zu Alternativtechnologien ohne F-Gase, Bündelung von Know How in Kompetenzzentren.

In Bezug auf Kosten für die Anwender und Verbraucher übersteigen in den modellierten Steuerszenarien von 20, 30 bzw. 40 €/t CO_2-Äq. die Kosten für die zu zahlenden Steuern die technischen Substitutionskosten. Die Steuern fallen in den Anwendungsbereichen an, in denen die HFKW-Substitution nicht möglich oder teurer als die Steuern wäre, die technischen Kosten in den Anwendungsbereichen, in denen die Substitution günstiger wäre als die Steuern. Die durch die Steuer generierten Staatseinnahmen könnten für Forschungs- und Entwicklungsprozesse verwendet werden. Positive Innovationsimpulse auf jeder Wertschöpfungsstufe können im Rahmen einer Steuer dadurch erzielt werden, dass Minderungsaktivitäten zu einer Verringerung der Steuerbelastung führen und damit den Gewinn oder das verfügbare Einkommen der Akteure erhöhen. Damit stehen mehr Ressourcen für Forschung und Entwicklung zur Verfügung. Die Arbeitsplatzeffekte einer deutschen HFKW-Steuer wären im Saldo leicht positiv, in der Größenordnung von 2000 zusätzlichen Beschäftigten.

4.3.6 Steuer im Instrumentenmix mit dem EU Phase down-Vorschlag

Die Idee, sowohl Mengenbeschränkungen als auch Steuern zur Minderung des Verbrauchs von Substanzen einzusetzen, ist nicht neu. Um ihren Verpflichtungen unter dem Montrealer Protokoll nachzukommen, führten 1990 die USA eine FCKW-Steuer ein, nachdem ein Jahr zuvor international das System mit handelbaren

Mengenbeschränkungen für FCKW beschlossen worden war. Eine erste Analyse dieser Politik beschreibt das Zusammenspiel als positiv: Mengenbeschränkungen signalisieren, dass tatsächliche Minderungsmaßnahmen stattfinden müssen, statt nur die Kosten an die Konsumenten weiterzuleiten, während das Preissignal ökonomischen Gewinn im Falle einer Reduktion, die über die Mengenbeschränkung hinausgeht, verspricht: "*The caps kept industry from seeing the tax as simply another cost of business to be passed on to purchasers, while the tax signaled economic rewards for phasing out production faster than the regulations required.*" (WRI 1996 S.49)

Auch in unserem vorliegenden Fall sind EU-weit geltende Mengenbeschränkungen vorgesehen, eine potentielle Steuer würde (neben den Ländern, die bereits ein Steuer eingeführt haben) unilateral von Deutschland eingeführt werden.

4.3.6.1 Mögliche Ausgestaltung einer HFKW-Steuer in Kombination zum EU Phase down

Vor dem Hintergrund der Modellierungsergebnisse und der Bewertung des Phase down (Kapitel 4.2) werden im Folgenden die mögliche Ausgestaltung und Auswirkungen einer deutschen HFKW-Steuer in Kombination mit dem EU Phase down und deren Abhängigkeit von der Stärke des Preissignals des Phase down mit Rechenbeispielen für das Jahr 2020 illustriert.

Wenn einmal entschieden wurde, wer im Rahmen der HFKW-Steuer steuerpflichtig ist (Kapitel 4.3.5.1.1), betrifft der wichtigste Aspekt der weiteren Ausgestaltung die der Steuerhöhe (variabel oder fix). Grundsätzlich sind zwei Möglichkeiten denkbar:

- Festlegen einer Preisuntergrenze, wobei sich der in Deutschland gezahlte Steuersatz aus der Differenz zwischen Preisuntergrenze und dem Preissignal durch den Phase down ergibt. Ist das Preissignal durch den Phase down höher als die Preisuntergrenze, fällt der variable Steuersatz auf 0.
- Setzen eines fixen Steuersatzes, wobei sich das gesamte Preissignal in Deutschland aus EU-weitem Preissignal durch Phase down und dem fixen Steuersatz in Deutschland zusammensetzt. Ist das Preissignal durch den Phase down gleich 0, so ist der fixe Steuersatz gleich dem gesamten Preissignal in Deutschland.

Diese beiden Ausgestaltungsmöglichkeiten werden im Folgenden näher beleuchtet und ihre ökologische Effektivität und ökonomische Effizienz bei stringentem und schwachem Phase down-Signal (vgl. Kapitel 4.2.2.7) analysiert.

4.3.6.1.1 Preisuntergrenze/ variabler Steuersatz

Um eine Preisuntergrenze im Rahmen des EU Phase down umsetzen zu können, ist es zunächst notwendig, dass der Phase down zu einem klaren Zertifikatspreis (oder Quotenpreis) führt. Werden z.B. die HFKW-Quoten wie im Verordnungsvorschlag vorgesehen durch Grandfathering vergeben, müsste der entsprechende Preis am Sekundärmarkt abgelesen werden können.[88]

[88] In der WRI-Studie (1996) wird erwähnt, dass im FCKW-Handelssystem der USA zwischen 1992 und 1995 nur 30-40 Transaktionen pro Jahr stattgefunden haben. Eine derart kleine Anzahl an Transaktionen würde vermutlich nicht ausreichen, um einen einheitlichen Sekundärmarktpreis zu erzeugen. Sollte dies auch für den EU Phase down der Fall sein, bietet ein variabler Steuersatz bzw. eine Preisuntergrenze ggf. keine Ausgestaltungsoption, da diese Option die Existenz und Bekanntheit eines Marktpreises für die HFKW-Quoten bzw. Zertifikate voraussetzt.

Liegt der Zertifikatspreis (oder Quotenpreis) durch den Phase down über der festgelegten Preisuntergrenze, so greift diese nicht und das gesamte Preissignal in Deutschland entspricht dem EU-weiten Preissignal durch den Phase down. Ist das Phase down-Signal allerdings schwach, so entspricht das gesamte Preissignal in Deutschland der Preisuntergrenze. Somit ist das gesamte Preissignal in Deutschland nicht fix, sondern abhängig davon, ob das Phase down-Signal stringent oder schwach ist.

Die Ausgestaltung einer Preisuntergrenze könnte sich an der Ausweitung der Climate Change Levy in Großbritannien orientieren. Diese wurde 2011 beschlossen und seit 01.04.2013 ergänzend zum EU Emissionshandel mit dem Ziel ausgeweitet, ein bestimmtes CO_2-Preisniveau sicherzustellen. Die Steuer wird variabel immer als Differenz zwischen dem ETS Preis und einem vorher festgelegten Mindest-Preisniveau festgesetzt (Price-floor) und ihre Höhe zwei Jahre im Voraus bekannt gegeben (HM Revenue & Customs, 2012; HM Treasury, 2010).[89] Allerdings muss dafür in Großbritannien keine neue Steuer geschaffen, sondern lediglich Ausnahmen einer bestehenden Abgabe abgeschafft werden (bisher sind Kraftstoffe, die zur Stromerzeugung verwendet werden, bei der Climate Change Levy nicht erfasst). Es ist zu erwarten, dass das Einführen einer neuen Steuer schwieriger ist, als das Abschaffen von Ausnahmen einer schon bestehenden Abgabe.

4.3.6.1.2 Fixer Steuersatz

Alternativ kann eine Steuer auch als rein zusätzliche Steuer eingesetzt werden, deren Höhe unabhängig vom Zertifikatspreis (oder Quotenpreis) durch den Phase down ist. Für deutsche Unternehmen würde sich das gesamte Preissignal aus dem Zertifikatspreis und dem fixen Steuersatz zusammensetzen. Somit ist der Steuersatz fix, während das gesamte Preissignal variabel ist und vom EU-weiten Zertifikatspreis (oder Quotenpreis) abhängt.

4.3.6.1.3 Genaue Umsetzung

Zusätzlich zur Wahl der Art der Steuerhöhe (variabel oder fix), muss entschieden werden, wie hoch die Preisgrenze bzw. der fixe Steuersatz sein soll. Sollen diese z.B. in Stufen ansteigen, wie bei der FCKW-Steuer in den USA (WRI 1996), was der Idee einer schrittweisen Reduzierung (vgl. Phase down) entsprechen würde.

Aus rechtlicher Sicht bleibt die Frage, wie ein Mindestpreissignal (Preisuntergrenze) in Deutschland um- bzw. durchzusetzen wäre. Bisher gibt es dafür keine weitreichenden Präzedenzfälle. Ein Mindestpreissignal für HFKW wäre als ein neues Instrument einzuführen, im Gegensatz zur Climate Change Levy in Großbritannien, bei der lediglich Ausnahmen einer bestehenden Abgabe abgeschafft wurden. Eine wichtige rechtliche Frage für Deutschland wäre somit, wie sich die Einführung einer Preisuntergrenze von einem fixen Steuersatz unterscheidet.

[89] Die aktuelle Preisuntergrenze liegt bei 18 £/tCO_2. Sie soll bis 2020 auf 30 £/tCO_2 ansteigen und im Jahr 2030 70 £/tCO_2 erreichen. Der britische price-floor ist wegen der aktuell sehr niedrigen Zertifikatspreise im EU Emissionshandel und den damit verbundenen Befürchtungen bezüglich der Wettbewerbsfähigkeit britischer Unternehmen in die Kritik geraten.

4.3.6.2 Wirkungen bei stringentem Phase down-Signal

Im folgenden Abschnitt wird beleuchtet, wie die beiden Varianten der Steuer (Preisuntergrenze oder fixer Steuersatz) wirken, wenn das Preissignal durch den Phase down stringent ist.

4.3.6.2.1 Preisuntergrenze

Abbildung 40 stellt exemplarisch die gesamte durch den Phase down vorgegebene Reduktion dar (x-Achse). Im Fall einer relativ hohen verlangten Reduktion ist das Phase down-Signal stringent. Es sind jeweils die Vermeidungskostenkurven von Deutschland (von rechts nach links) und der EU außer Deutschland (von links nach rechts) dargestellt. Die steilere Vermeidungskostenkurve Deutschlands soll zum Ausdruck bringen, dass die Vermeidungskosten in Deutschland schneller ansteigen, da günstige Vermeidungsoptionen schneller ausgeschöpft sind, weil der Verbrauch von F-Gasen in der gesamten EU außer Deutschland größer ist als in Deutschland alleine. Die optimalen Vermeidungsmengen und der zugehörige Preis können am Schnittpunkt der beiden Kurven abgelesen werden.

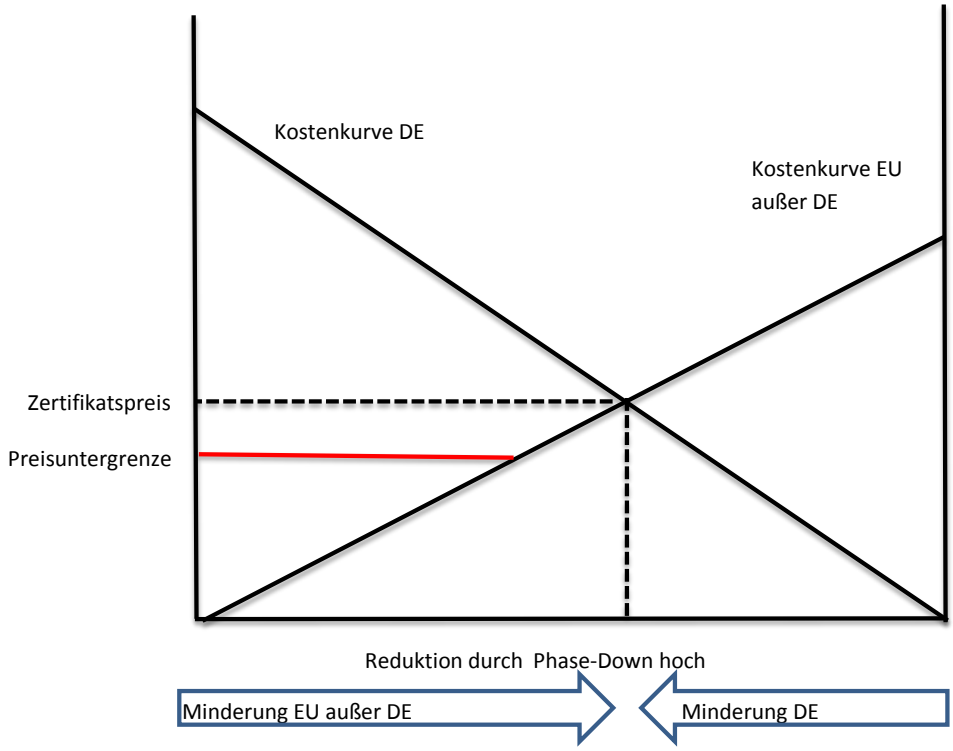


Abbildung 40: Wirkmechanismus der Preisuntergrenze bei stringentem Phase down-Signal

In diesem Fall liegt die festgesetzte Preisuntergrenze unter dem Zertifikatspreis (oder Quotenpreis) durch den Phase down und greift somit nicht. Deutsche Unternehmen müssen keine zusätzliche Steuer zahlen und es gibt keine Steuereinnahmen. Das Ergebnis ist mit dem Phase down ohne Steuer identisch.

Im Zeitverlauf kann die Preisuntergrenze allerdings trotzdem zu anderen Ergebnissen als der Phase down alleine führen. Nämlich immer genau dann, wenn der Zertifikatspreis unter die Preisuntergrenze fällt, also wenn das Phase down-Signal

schwächer wird. Außerdem kann die Preisuntergrenze in Deutschland eine zusätzliche dynamische Anreizwirkung entfalten, falls sie als sichereres und langfristigeres Preissignal empfunden wird als (schwankende) Zertifikatspreise.

4.3.6.2.2 Fixer Steuersatz

Abbildung 41 stellt die Situation in Deutschland bei stringentem Phase down-Signal und fixem Steuersatz dar. In diesem Fall wird die Steuer immer auf die Nachfragemengen erhoben, die trotz des stringenten Phase down weiter nachgefragt werden. In diesem Sinne komplementieren sich die beiden Politikmaßnahmen. Wie an der Vermeidungskurve abzulesen ist, werden allerdings bei einem stringenten Phase down-Signal in Deutschland schon fast alle sinnvollen Minderungsmaßnahmen durchgeführt, so dass eine zusätzliche Steuer kaum zu zusätzlichen Minderungen führt, sondern fast ausschließlich zu Steuerzahlungen durch den verbleibenden Konsum/Verbrauch rechts des senkrechten Asts und zu Steuereinnahmen für den Staat.

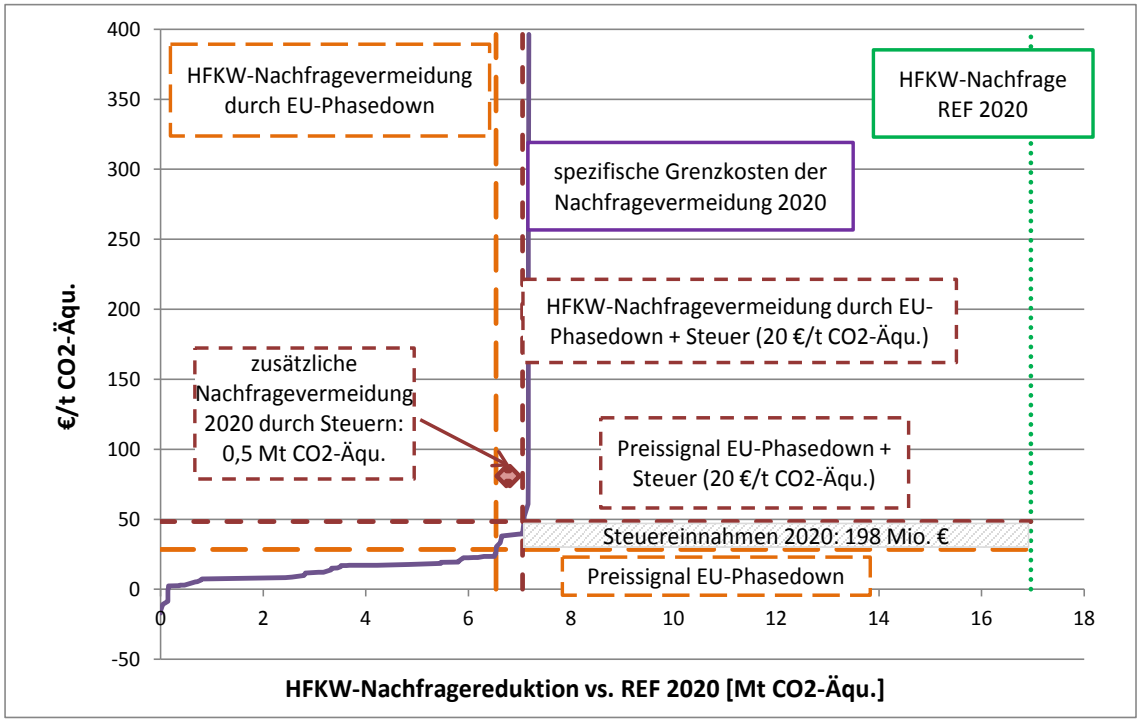


Abbildung 41: Wirkmechanismus des fixen Steuersatzes bei stringentem Phase down-Signal

Das Preissignal, dem sich Akteure in Deutschland ausgesetzt sehen, setzt sich aus dem EU-weiten Phase down-Preis von 28 €/t CO_2-Äq. plus der deutschen Steuer zusammen, die hier beispielhaft mit 20 €/t CO_2-Äq. angenommen ist und beläuft sich damit insgesamt auf 48 €/t CO_2-Äq. Die zusätzliche Nachfragevermeidung durch Steuern beliefe sich so auf nur 0,5 MT CO_2-Äq.

Die Preise addieren sich, da für jede nicht vermiedene Nachfragemenge sowohl der jeweilige Steuersatz wie auch der durchgeleitete Knappheitspreis aus dem Phase down (vgl. Kapitel 4.2.2.7) bezahlt werden muss. Damit ändert sich das Entscheidungskalkül der Nachfrager in Deutschland gegenüber dem der Nachfrager im europäischen Ausland, die nur das Preissignal aus dem Phase down sehen. Die zusätzliche

Nachfragevermeidung aus dem Gesamtpreissignal in Deutschland führt bei einer EU-weit gleichbleibenden Gesamtnachfragemenge zu einer marginalen Reduktion des HFKW-Aufpreises auf europäischer Ebene (vgl. Abbildung 42, die diesen Mechanismus für ein Szenario mit schwachem Phase down-Preissignal beispielhaft illustriert).

Anwendungssektoren, in denen nach diesen Modellrechnungen durch eine Steuer zusätzliche Substitutionsmaßnahmen angestoßen würden, umfassen Klimaanlagen in Nutzfahrzeugen und Autobussen sowie Verflüssigungssätze in der Gewerbekälte und Kühltransporter. Die für 2020 berechneten Steuereinnahmen belaufen sich im berechneten Beispiel (bei einem Steuersatz von 20 €/t CO_2-Äq. ohne Ausnahmen für spezifische Anwendungssektoren) auf knapp 200 Mio. €. Dies entspricht der verbleibenden HFKW-Nachfrage im Jahr 2020 multipliziert mit dem Steuersatz von 20 €/t CO_2-Äq.

4.3.6.2.3 Ökologische Effektivität

Ökologische Treffsicherheit

Die ökologische Treffsicherheit des Phase down bleibt im Falle eines stringenten Signals durch die Steuer (egal welcher Art) unberührt. Im Fall einer Preisuntergrenze, die nicht greift, entspricht die Situation genau der eines Phase down ohne Preisuntergrenze. Im Falle eines fixen Steuersatzes werden in Deutschland zusätzliche Reduktionen nur in geringem Umfang durchgeführt, da bei stringentem Phase down-Signal bereits fast alle sinnvollen Maßnahmen umgesetzt wurden.

Da die durch den Phase down vorgegebene Reduktionsmenge EU-weit fix ist, ändert sich am EU-weiten Konsum/Verbrauch nichts. Die in Deutschland zusätzlich geminderten 0,5 MT CO_2-Äq. werden woanders in der EU nachgefragt.

Wenn als Reaktion auf die Mengenbeschränkung plus Steuer neue Vermeidungstechnologien für Anwendungen am oberen Ende der Kurve entwickelt werden, könnte dies auf lange Sicht zu zusätzlichen Reduktionen in Deutschland führen. Auch dies ändert allerdings nichts am EU-weiten Verbrauch/Konsum, der lediglich durch die EU-weite Mengenbeschränkung beeinflusst wird.

Wirkungsgeschwindigkeit

Eine Steuer, die in Ergänzung zu einem Phase down eingeführt wird, garantiert durch den festen Preis, dass eine sofortige Wirkung erzielt wird. Auch für Unternehmen, die nicht mit dem Phase down vertraut sind oder das daraus resultierende Preissignal nicht unmittelbar wahrnehmen bzw. nicht an ein stringentes Signal glauben, bietet diese Regelung ein klares Signal und nimmt Einfluss auf betriebswirtschaftliche Produktions- und Investitionsentscheidungen und auf Entscheidungen über die Produktwahl und Produktnutzung seitens der Endverbraucher.

4.3.6.2.4 Ökonomische Effizienz

Kosteneffizienz (statisch)

Bei einem stringenten Phase down-Signal werden nahezu alle Minderungsmaßnahmen kosteneffizient durchgeführt. Eine fixe zusätzliche Steuer führt in Deutschland zu einer geringen zusätzlichen Minderung, aber vor allem zu Steuereinnahmen. Daher wirkt für die Gesamtwirtschaft diese Steuer eher wie eine reine Zahlungsverpflichtung ohne Lenkungswirkung (Abgabe), , da sie nicht zu Minderungsmaßnahmen führt, sondern vornehmlich zu Steuerzahlungen, und ist für die Volkswirtschaft in der kurzen Frist nicht kosteneffizient, da sie die Entscheidungen derjenigen Akteure verzerrt, die diese Mehrbelastung an Kosten zu tragen haben. Bei voller Durchleitung des Preissignals sind dies die Endverbraucher, deren Einkommen verringert werden würde. Damit würde die Steuer lediglich einen Transfer von Einkommen vom Endverbraucher zum Staat zur Folge haben und keine wesentliche Lenkungswirkung in Bezug auf die Nachfrage nach HFKW. Die Effizienz würde dann jeweils davon abhängen, wie diese zusätzlichen Einnahmen investiert werden.

Innovationswirkung (dynamische Effizienz)

Falls das Preissignal durch die Steuer als stabiler als das Phase down-Signal angesehen wird, könnte dies auf lange Sicht zusätzliche Aktivitäten deutscher Unternehmen im Bereich der Forschung und Entwicklung (F&E) neuer Technologien zur Vermeidung von Emissionen durch HFKW hervorrufen.

Im Falle eines fixen Steuersatzes könnten als Reaktion auf die Steuerzahlungen neue Vermeidungstechnologien entwickelt werden, die die Vermeidungskosten am oberen Ende der Kurve senken. Des Weiteren fallen im Falle eines fixen Steuersatzes Steuereinnahmen an, die auch zur Investition in F&E genutzt werden können.

Voraussetzung für diese zusätzlichen Innovationswirkungen ist, wie in Kapitel 1.1.1.1.1 beschrieben, dass das Preissignal in voller Höhe bei den Akteuren ankommt, die Möglichkeiten zur Vermeidung besitzen. Mögliche Struktur- und Wettbewerbswirkungen sind ähnlich wie in Kapitel 4.3.5.2.4 für die Steuer als eigenständige nationale Maßnahme beschrieben, wobei in dem Fall der ergänzenden Maßnahme zum Phase down mit starkem Preissignal die Steuerhöhe alleine zwar gering aber die gesamte marginale Kostenbelastung hoch wäre. In Kapitel 4.3.6.3.2 wird auf die Wettbewerbseffekte eingegangen, die bei einer Steuer als ergänzende Maßnahme zu einem schwachen Preissignal relevant sind.

4.3.6.3 Wirkungen bei schwachem Phase down-Signal

Ist das Signal durch den EU-weiten Phase down schwach, in dem Sinne, dass nicht wie im Falle des stringenten Signals bereits viele der kostengünstigen Minderungsmaßnahmen im flacheren Bereich der ansteigenden Grenzkostenkurve durchgeführt werden, gibt eine Steuer (als Preisuntergrenze oder fix) die Gelegenheit, weitere Minderungspotenziale in Deutschland zu erschließen. Im Folgenden wird hierbei wieder zwischen einer Steuer in Form einer Preisuntergrenze und eines fixen Preises unterschieden.

Abbildung 42 stellt den Wirkmechanismus einer Preisuntergrenze bei schwachem Phase down-Signal dar. Die x-Achse entspricht wieder der durch den Phase down verlangten Minderung. Es ist festzuhalten, dass sich an dieser EU-weit erlaubten Minderungsmenge durch die Steuereinführung in Deutschland zunächst nichts ändert. Allerdings führt die Preisuntergrenze, die nun gleich dem gesamten Preissignal in Deutschland ist, dazu, dass die Situation vom Fall des Phase down ohne zusätzliche Steuer abweicht: Akteure in Deutschland führen zusätzliche Minderungsmaßnahmen durch, dies führt dazu, dass für die restliche EU zusätzliche Zertifikate zur Verfügung stehen und diese deshalb weniger mindern müssen. Außerdem sinkt durch niedrigere Nachfrage nach Zertifikaten in Deutschland deren Preis.

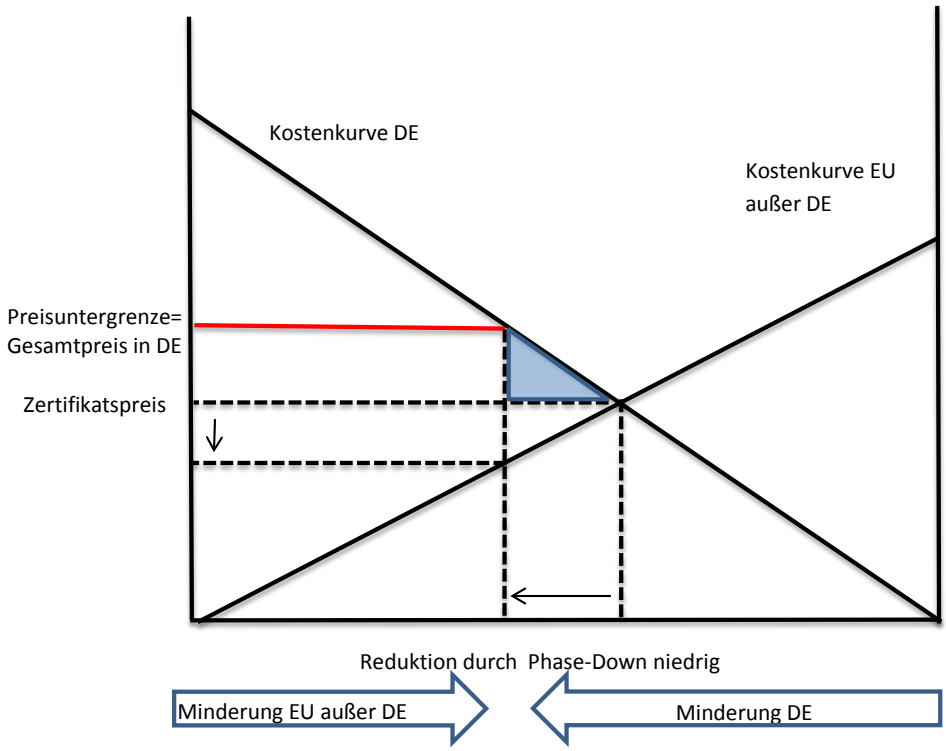


Abbildung 42: Wirkmechanismus der Preisuntergrenze bei schwachem Phase down-Signal

Das blaue Dreieck stellt die in Deutschland zusätzlich anfallenden Minderungskosten dar (zu daraus resultierende Befürchtungen bzgl. der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, die in Deutschland tätig sind, siehe Abschnitte 1.1.1.1.1 und 4.3.5.2.4).

Der Wirkmechanismus eines fixen Steuersatzes ist im Falle eines schwachen Phase down-Signals dem einer Preisuntergrenze ähnlich. Die genaue Wirkung und Unterschiede zwischen den beiden Optionen hängen von der Wahl der Höhe der Preisuntergrenze bzw. des fixen Steuersatzes ab. Abbildung 43 stellt dar, dass sich der Gesamtpreis in Deutschland nun aus dem niedrigeren Zertifikatspreis und dem fixen Steuersatz ergibt.

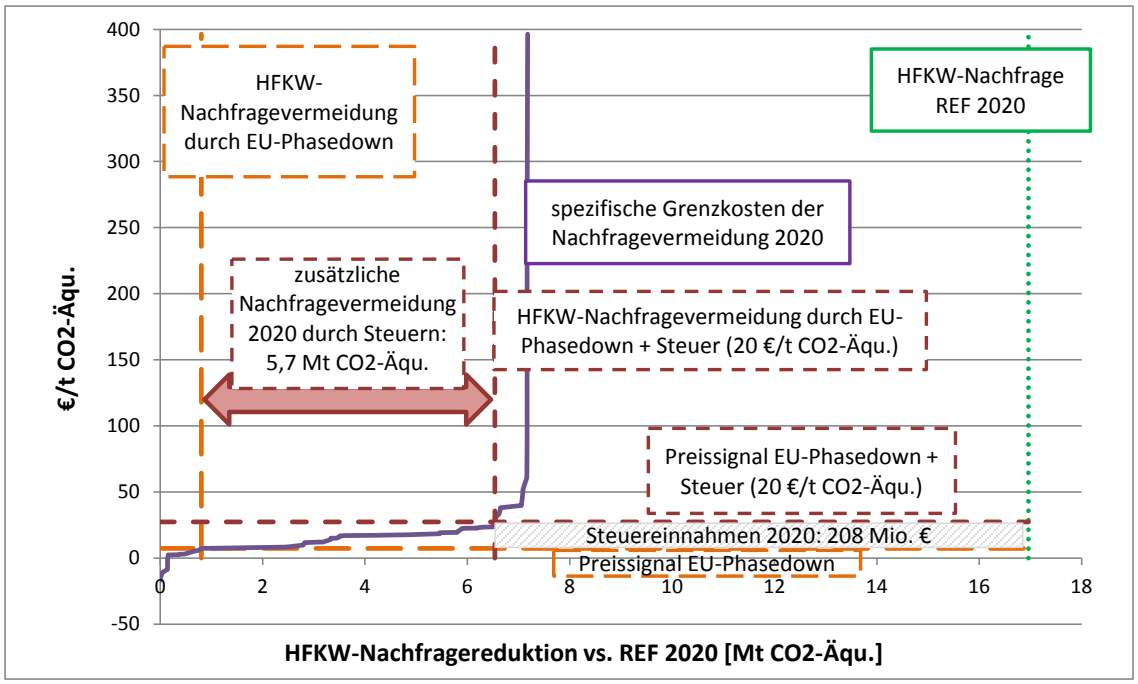


Abbildung 43: Wirkmechanismus des fixen Steuersatzes bei schwachem Phase down-Signal

Bei schwachem Phase down-Signal (z.B. 7 €/t CO_2-Äq., wie sie im Phase down-Szenario #2 für 2020 modelliert wurden) führt eine zusätzlich eingeführte fixe Steuer in Höhe von beispielsweise 20 €/t CO_2-Äq. zu zusätzlichen Reduktionen der HFKW-Nachfrage um 5,7 MT CO_2-Äq. (zusätzlich zu 0,8 MT CO_2-Äq. aus dem Phase down). Die Steuereinnahmen im Jahr 2020 belaufen sich in diesem Szenario (zusätzliche Steuer von 20 €/t CO_2-Äq. auf Bulkware, keine Ausnahmen, volle Durchleitung der Mehrkosten) auf 208 Mio. €.

Durch die zusätzliche Steuer würden in dieser Modellrechnung Substitutionsmaßnahmen in Deutschland u.a. bei Supermarkt-Zentralanlagen, Wärmepumpen-Heizungen und Multisplit-Klimageräten und Gewerbe- und Industriekälte angereizt.

Dies bedeutet wieder, dass in Deutschland mehr gemindert wird als im Fall des Phase down ohne unilaterale Steuer und folglich in den restlichen EU-Staaten weniger gemindert werden muss, um die EU-weite Mengenbegrenzung im Phase down zu erfüllen.

„Nutznießer“ in anderen EU-Staaten könnten nach diesen Modellberechnungen Betreiber von Feuerlöschanlagen mit HFKW-Technologie und Klimageräten sein. Diese könnten sich entscheiden, lieber den angesichts der deutschen HFKW-Steuer verminderten HFKW-Aufpreis gemäß EU Phase down bezahlen, statt selbst Substitutionsmaßnahmen zu ergreifen, die ohne die deutsche HFKW-Steuer (bei einem höheren EU-weiten HFKW-Aufpreis) wirtschaftlich geworden wären.

4.3.6.3.1 Ökologische Effektivität

Ökologische Treffsicherheit

Bei schwachem Phase down-Signal und zusätzlicher Steuer werden durch die Steuer und dem damit verbundenen höheren Preissignal höhere Minderungen in Deutschland erreicht, als sie durch den Phase down alleine erzielt werden würden. Dies gilt sowohl für die Preisuntergrenze als auch für den fixen Steuersatz.

Eine ergänzende Steuer in Deutschland (oder einem anderen Land) bewirkt EU-weit allerdings **nicht**, dass zusätzlich vermieden wird. Die zusätzliche Minderung findet einzig in dem Land statt, in dem die Steuer gültig ist (vgl. Braathen 2011). Jede in Deutschland zusätzlich geminderte Tonne würde anderswo in der EU zusätzlich nachgefragt werden können, da die Mengenbeschränkungen keine spezifische HFKW-Menge für Deutschland vorsehen. In den Abbildungen lässt sich dies schematisch an der Länge der x-Achse ablesen (vgl. Abbildung 29), die jeweils die gesamte durch den Phase down verlangte Minderung angibt, welche durch die Steuer nicht berührt wird.

Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu dem Fall eines einzelnen Landes, in dem sowohl Mengenbeschränkungen als auch eine Steuer gelten, wie die USA im Kontext der Minderung von FCKWs im Jahr 1990. Dann kann eine Steuer zu Einsparungen führen, die höher als die durch die Mengenbeschränkung verlangten Minderungen sind (cf. WRI 1996). Ein solches Ergebnis könnte in der EU nur erreicht werden, wenn (fast) alle EU-Staaten eine ähnliche Steuer einführen.

Eine Steuer in Deutschland könnte außerdem die EU-weite ökologische Effektivität beeinflussen, wenn als Reaktion auf höhere Reduktionen in Deutschland das die zur Verfügung stehenden HFKW-Mengen in Europa (das „Phase down Budget“) in der Zukunft angepasst werden. So könnte es auf lange Sicht zu zusätzlichen Reduktionen kommen. Allerdings bleibt hier zu beachten, dass es u.U. schwierig ist, das Phase down Budget später anzupassen.

Fazit:

Eine komplementäre Steuer führt grundsätzlich nicht zu EU-weit höheren Minderungen als der Phase down alleine.

Wirkungsgeschwindigkeit

Die Wirkungsgeschwindigkeit ist wie in 4.3.5.2.1 beschrieben. Eine Steuer, die in Ergänzung zu einem Phase down eingeführt wird, garantiert durch den festen Preis, dass eine sofortige Wirkung erzielt wird. Auch für Unternehmen, die nicht mit dem Phase down vertraut sind oder das daraus resultierende Preissignal nicht unmittelbar wahrnehmen bzw. nicht an ein stringentes Signal glauben, bietet diese Regelung ein klares Signal und nimmt Einfluss auf betriebswirtschaftliche Produktions- und Investitionsentscheidungen.

4.3.6.3.2 Ökonomische Effizienz

Kosteneffizienz (statisch)

Für Deutschland ist eine zusätzliche Steuer nicht kosteneffizient. Es werden zusätzliche Emissionsminderungen zu höheren Grenzvermeidungskosten in Deutschland angereizt, die aber EU-weit nicht zu höheren Minderungen führen, sondern vielmehr (sobald die Steuer in Deutschland greift) zu niedrigeren EU-weiten Zertifikatspreisen (oder Quotenpreisen) führen könnten. Dies impliziert, dass andere Länder auf Kosten deutscher Minderungen geringere Kosten haben, i.e. Deutschland übernimmt einen Teil der EU-weiten Minderungskosten. Das Prinzip handelbarer Mengenbeschränkungen, dass Minderungen dort stattfinden sollen, wo sie am günstigsten sind, ist damit nicht mehr erfüllt.[90] Wie oben dargestellt, hängt es von den jeweiligen Reaktionsmöglichkeiten (Elastizitäten) der Angebots- und Nachfrageseite ab, wer die durch die Steuer zusätzlich verursachten Kosten zu tragen hat.

Innovationswirkung (dynamische Effizienz)

Wie oben beschrieben, ist eine wesentliche Voraussetzung für die Innovationswirkung der Steuer, dass einerseits das Preissignal durch geleitet wird und Nachfrageänderungen hervorrufen kann und andererseits diese Nachfrageänderung einen Impuls für Innovationen auf der Angebotsseite geben kann. Minderungsaktivitäten auf jeder Stufe der Wertschöpfungskette führen zu einer Verringerung der Steuerbelastung, damit stehen mehr Ressourcen für Forschung und Entwicklung zur Verfügung.

Ist dies der Fall, schafft die Steuer zusätzliche Anreize für Anlagenbauer oder Hersteller von Produktionsanlagen, in Forschung und Entwicklung (F&E) zu investieren. Weitere Reduktionen setzen noch mehr Ressourcen frei, die dann wiederum in F&E investiert werden können. Auch der Staat kann Steuereinnahmen in F&E investieren. In den USA wurde im Rahmen der FCKW-Steuer explizit entschieden, das Preissignal durch die Steuer mit Investitionen in Forschung zu verbinden.

Im Falle eines Phase downs mit Grandfathering gibt es für deutsche Unternehmen zusätzlich die Möglichkeit, durch Minderung übrige Emissionsrechte zu verkaufen und in F&E zu investieren.

Gegebenenfalls kann durch den Phase down kein langfristiges Knappheitssignal über einen Zeithorizont von mehreren Jahren erzeugt werden, der für Modernisierungs- und Innovationszyklen nötig wäre (vgl. Matthes, 2010, der dies an Hand des EU Emissionshandels diskutiert). Der kombinierte Effekt aus Phase down und Steuer (bzw. Preisuntergrenze) könnte durch größere Sicherheit eines langfristigen Preissignals in Deutschland zu stärkeren F&E Entwicklungen führen und damit ein höheres Innovationspotenzial besitzen. Daraus könnte ein weiterer positiver Effekt in Form von zusätzlichen Exportchancen neuer Technologien resultieren. Allerdings

[90] Wenn allerdings Marktversagen vorliegt, das durch eine Steuer oder ein anderes Instrument abgebaut werden kann (aber nicht durch den Zertifikatehandel), könnte ein zusätzliches Instrument wieder effizient sein, z.B. auch wenn durch Steuereinnahmen Ineffizienzen an anderer Stelle abgebaut werden können (Lehmann 2010).

muss beachtet werden, dass auch Steuern verändert werden können. Die empfundene Langfristigkeit hängt von der Ausgestaltung und der jeweiligen politischen Situation ab.

Gleichzeitig besteht aber die Gefahr, dass Unternehmen in Deutschland auf kurze Sicht nicht mehr wettbewerbsfähig sind und Marktanteile verlieren. Daraus können negative gesamtwirtschaftliche Effekte resultieren. Mögliche Antworten auf diese Problematik sind zielgerichtete Steuerbegünstigungen von den Unternehmen, die im internationalen Wettbewerb Nachteile zu befürchten hätten, oder vermehrte Investitionen in F&E. Allerdings könnte auf lange Sicht die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen sogar erhöht werden, wenn Investitionen in neue Technologien sie kosteneffizienter machen (vgl. Screen, 2012 der diesen Effekt an Hand des carbon price floors und seiner Wirkungen auf die Elektrizitätsindustrie in Großbritannien illustriert). Als Folge der Einführung einer Mengenbeschränkung, gekoppelt mit einer Steuer (und einem Forschungsprogramm), konnten in den USA z.B. radikale Verbesserungen in der Entwicklung von Vermeidungstechnologien für FCKW-Verbrauch festgestellt werden (WRI 1996).

Fazit:

Auf kurze Sicht beeinträchtigt eine Steuer, die zusätzlich zum Phase down eingeführt wird, die Kosteneffizienz dieses Instruments sowie eventuell die Wettbewerbsfähigkeit einiger Unternehmen. Allerdings hat sie das Potenzial auf längere Sicht mehr Sicherheit für Investitionen in Vermeidungstechnologien zu geben, die zu höherer Kosteneffizienz deutscher Unternehmen und höherer Wettbewerbsfähigkeit führen kann. Voraussetzung für die Innovationswirkung der Steuer über den Phase down hinaus ist allerdings, dass einerseits das Preissignal durchgeleitet wird und Nachfrageänderungen hervorruft und andererseits diese Nachfrageänderung einen Impuls für Innovationen auf der Angebotsseite geben können. Dieser Mechanismus kann durch Informationskampagnen auf der Nachfrageseite und staatliche Investitionen in F&E auf der Angebotsseite unterstützt werden.

4.3.6.4 Zusammenfassende Bewertung einer deutschen HFKW-Steuer als Ergänzung zum EU Phase down

Diese Bewertung gilt für den Fall einer deutschen HFKW-Steuer als Begleitmaßnahme zum aktuell vorgeschlagenen EU Phase down Vorschlag.

Eine Kombination von nationalen Steuern in Deutschland mit einem EU Phase down führt EU-weit grundsätzlich nicht zu zusätzlichen Reduktionen der HFKW-Nachfrage, da die EU-weite Minderungsmenge durch das Phase down-Budget festgelegt ist. Es sei denn, viele andere EU-Staaten führen ähnliche Steuern ein.

Bei starkem Preissignal des EU Phase down führt eine nationale Steuer fast ausschließlich zu Steuereinnahmen, aber kaum zu weiterem Rückgang der HFKW-Nachfrage innerhalb Deutschlands. Bei schwachem Preissignal aus dem EU Phase down führt eine nationale Steuer zu zusätzlicher Reduktion der HFKW-Nachfrage in Deutschland. Dies beeinträchtigt auf kurze Sicht die Kosteneffizienz dieses Instruments sowie evtl. die Wettbewerbsfähigkeit einiger Unternehmen. Allerdings hat sie das Potenzial auf längere Sicht mehr Sicherheit für Investitionen in

Vermeidungstechnologien zu geben. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine adäquate Durchleitung des Preissignals.

Nach den durchgeführten Modellrechnungen ist aber für den aktuell vorgeschlagenen EU Phase down-Fahrplan ein starkes Preissignal in der Größenordnung von 30 €/t CO_2-Äq. zu erwarten, und zwar (je nach endgültiger Definition der EU-Baseline 2008-2011) ab 2017 oder ab 2021. Vor diesem Hintergrund erscheint eine zusätzliche nationale Steuer für einen Zeithorizont ab 2020 wenig zielführend. In den allerersten Jahren des Phase down, wo noch kein starkes Preissignal zu erwarten wäre, könnte eine Steuer jedoch als deutliches Kommunikationssignal Investitionsentscheidungen im Sinne einer HFKW-Substitution beeinflussen.

4.3.7 HFKW-Steuern flankierend mit weiteren Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen fluorierter Treibhausgase

Die Analysen der Ausgestaltungsoptionen und der ökologischen sowie ökonomischen Wirkung der HFKW-Steuern zeigen auf, dass verschiedene Gründe denkbar sind, wieso preisbasierte Instrumente durch andere Politikmaßnahmen unterstützt werden sollten. Gründe sind beispielsweise, dass radikale Innovationen auf Seiten der Technologiehersteller/Anlagenbauer durch HFKW-Steuern nicht befördert werden, dass Barrieren, die dazu führen, dass die Angebots- oder Nachfrageseite nicht auf Preise reagieren (Hood 2011; Matthes 2010) nicht abgebaut werden, dass direkte Risiken durch einzelne Stoffe oder Anwendungen nicht zielführend gemindert werden und dass die Durchleitung des Preissignals aufgrund von unvollkommenen Marktstrukturen oder starren Preisreaktionen mangelhaft oder – insbesondere auf der Stufe der Endverbraucher – diffus sein kann. In den folgenden Abschnitten werden daher kurz weitere Maßnahmen bzw. Instrumente aufgezeigt, die ergänzend eingesetzt bzw. durchgeführt werden könnten. Eine vertiefte Diskussion liegt jedoch außerhalb des Rahmens dieser Studie.

4.3.7.1 Verbote

Verbotsoptionen für verschiedene Anwendungen von fluorierten Treibhausgasen werden im Kapitel 4.4 behandelt. Im Zusammenwirken mit Steuern ist generell zu betonen, dass Verbote und HFKW-Steuern komplementäre Maßnahmen darstellen. So wurde in Dänemark die Kombination aus Verwendungsverboten und der Besteuerung von F-Gasen als wirkungsvolle Kombination zur Emissionsverminderung bereits 2001 eingeführt.

Durch Verbote kann die Nachfrage nach HFKW oder bestimmten einzelnen Gasen in spezifischen Anwendungen komplett ausgeschaltet werden, so dass diese Verwendungsmengen für andere Anwendungen zur Verfügung stehen. Dies kann besonders im Kontext mit dem EU HFKW-Phase down eine Lenkungsmaßnahme darstellen.

Es ist zu beachten, dass für Anwendungen, die einem Verbot unterliegen sollen, ab dem Verbotsjahr Alternativen mit 100% Marktdurchdringung zur Verfügung stehen müssen. Für manche Anwendungsfälle können auch spezifische Ausnahmen definiert werden. Dies ist bei der Definition der von den Verboten betroffenen Anwendungssektoren zu berücksichtigen.

Darüber hinaus können Verbote unabhängig vom ökonomischen Kalkül zur Innovation oder Verhaltensänderung der betroffenen Marktteilnehmer anregen (dynamische Anreizwirkung).

4.3.7.2 Weitere Maßnahmen

Neben Verboten können weitere Maßnahmen die Wirksamkeit von HFKW-Steuern im Zusammenspiel mit dem EU Phase down oder als alleinige nationale Maßnahme unterstützen. Solche Maßnahmen werden in Kapitel 4.5 beschrieben.

Insbesondere im Bereich der Dissemination von bereits entwickelten, aber noch nicht in der Breite verwendeten Technologien und der Forschung und Entwicklung von neuen, bisher nicht verfügbaren Technologien nehmen ergänzende Maßnahmen einen hohen Stellenwert ein. Während ein langfristiges Preissignal in Form einer Steuer oder induziert durch eine Mengenbeschränkung im Phase down im optimalen Fall (also bei voller Preisdurchleitung, elastischer Nachfrage, Wettbewerbsmarkt, überschaubare Anzahl der Marktstufen) einen Nachfrageeffekt nach bestehenden neuen Technologien und Anlagen haben kann und damit die Dessemination befördern, bestehen in der Realität wie oben aufgeführt eine Vielzahl an Hemmnissen, die diesen Effekt abschwächen können. Darüber hinaus sind diese Instrumente zur Anregung von langfristigen Investitionen in Forschung und Entwicklung von neuen, bisher nicht verfügbaren Technologien und Anlagen weniger geeignet. Sinnvolle, notwendige wie auch legitime Instrumente umfassen dabei neben den angesprochenen Verboten:

- Staatliche Investitionen in Forschungsprogramme für Alternativtechnologien, wie sie etwa auch in Dänemark etabliert wurden.
- Ausweitung von Fördermaßnahmen (Investitionssubventionen) von bestehenden Ansätzen hin zu weiteren Anwendungssektoren. Bisher konnten mit dem Klimaschutzprogramm des BMU für die Gewerbekälte gute Ergebnisse erzielt werden[91].
- Information und Weiterbildung von Personal und Fachfirmen zu Alternativtechnologien ohne F-Gase (wie auch im Revisionsvorschlag angeregt) und Zusammenführung bestehender Kenntnisse, Erfahrungen und Marktdaten in Europa, z.B. in einem Kompetenzzentrum.
- Informationskampagnen und spezifische Beratungen für Verbraucher.
- Ambitionierte Umsetzung der Maßnahmen zum Emissionsrückhalt von F-Gasen (Regelungen der aktuellen F-Gase-Verordnung, Art. 3, und nationaler Regelungen) sowie deren Kontrolle und damit weitere Verringerung des HFKW-Verbrauchs in bestehenden Klima- und Kälteanlagen durch verbesserte Dichtheit .
- Verbesserte Umsetzung und Kontrolle der Rückgewinnung von HFKW-Mengen aus Anlagen und Produkten am Ende der Nutzungsdauer und zunehmende Wiederaufbereitung gebrauchter Kältemittel (aufbauend auf den Regelungen der aktuellen F-Gase-Verordnung, Art. 4, und nationaler Regelungen).

[91] Expertengespräch mit Wolfgang Müller, BMU, der das Förderprogramm für gewerbliche Kälteanlagen betreut, am 19.04.2012 im Rahmen des Supermarkt-Symposiums des ZVKKW in Darmstadt.

4.4 Verbote

4.4.1 Einleitung

Das Kapitel zu Verboten enthält zunächst einen Überblick der Verbotselemente der Vorschläge zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung. Anschließend werden weitere mögliche Verbote dargestellt. Es wird kein eigenständiges Verbotsszenario für Deutschland berechnet, da aus Gründen der Wettbewerbsverzerrung nicht von zusätzlichen nationalen Verboten in Deutschland über europäische Verbote hinaus auszugehen ist. Es erfolgt jedoch eine qualitative Bewertung.

Abschließend werden Verbote als umweltpolitische Instrumente bewertet.

4.4.2 Verbotselemente im EU-Vorschlag

Verschiedene Verbote, die im Zusammenhang mit der Überarbeitung der F-Gase-Verordnung diskutiert wurden, sind im Kapitel 4.1 vorgestellt und die Modellierungsergebnisse im Hinblick auf die HFKW-Nachfrage im Kapitel 4.2 ausgeführt.

Zur besseren Übersicht werden an dieser Stelle die im Vorschlag der EU-Kommission vom November 2012 sowie weitere diskutierte Verbotselemente tabellarisch zusammengefasst (Tabelle 29).

Die im ursprünglichen Vorschlag vom November enthaltenen Verbote umfassten Inverkehrbringungs- und Verwendungsverbote für F-Gase in bestimmten Produktgruppen sowie ein Nachfüllverbot für Kältemittel mit hohem GWP und das Vorbefüllungsverbot.

Die darüber hinaus diskutierten Inverkehrbringungsverbote für mobile und stationäre Kälteanlagen mit Kältemitteln mit hohem GWP, die in der Praxis einem Erstfüllungsverbot für R404A entsprechen, würden die HFKW-Nachfrage stark beeinflussen, wie die Modellierungsergebnisse zeigen (Kapitel 4.2.2.3).

Tabelle 29: Verbotsmaßnahmen des Vorschlags zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung der EU-Kommission (linke Spalte) und der späteren Diskussion.

Vorschlag der EU-Kommission vom 07.11.12 Com(2012)643 final	Diskussion während des Revisionsprozesses (Änderungen kursiv)
Artikel 9(1); Annex III	Artikel 9(1); Annex III
Inverkehrbringungsverbote: Feuerlöschsysteme und Feuerlöscher, die HFKW-23 enthalten: ab 01.01.2015 Haushaltskühl- und –gefriergeräte, die HFKW enthalten, mit HFKW mit GWP ≥150: ab 01.01.2015 Kühl- und Gefrierschränke zur Lagerung, Ausstellung oder Verteilung von Produkten im Einzelhandel und in der Gastronomie (gewerbliche Nutzung)- hermetisch geschlossene Systeme: die HFKW mit GWP ≥2.500 enthalten: ab 01.01.2017 die HFKW mit GWP ≥150 enthalten: ab	Inverkehrbringungsverbote: Feuerlöschsysteme und Feuerlöscher, die HFKW-23 enthalten: ab 01.01.2015 Haushaltskühl- und –gefriergeräte, die HFKW enthalten, mit HFKW mit GWP ≥150: ab 01.01.2015 Kühl- und Gefrierschränke zur Lagerung, Ausstellung oder Verteilung von Produkten im Einzelhandel und in der Gastronomie (gewerbliche Nutzung)- hermetisch geschlossene Systeme: die HFKW mit GWP ≥2.500 enthalten: ab 01.01.2017 die HFKW mit GWP ≥150 enthalten: ab

01.01.2020 Mobile Raumklimageräte (hermetisch geschlossene Einrichtungen, die vom Endverbraucher in Räumen fortbewegt werden kann, die HFKW mit GWP ≥150 enthalten.	01.01.2020 Mobile Raumklimageräte (hermetisch geschlossene Einrichtungen, die vom Endverbraucher in Räumen fortbewegt werden kann, die HFKW mit GWP ≥150 enthalten. *Neue stationäre Kälteanlagen, die HFKW enthalten oder zur Funktion benötigen, mit HFKW mit GWP ≥2.500 (ausgenommen Anwendungen für den Bereich ‹-50°C): ab 01.01.2020* *Neue mobile Kälteanlagen die HFKW enthalten oder zur Funktion benötigen, mit HFKW mit GWP ≥2.500: ab 01.01.2025*
Artikel 11	Artikel 11
Verwendungsverbote: Verwendung von SF_6 in Magnesium-Gießereien und beim Recycling von Magnesium-Legierungen. Für kleine Gießereien mit SF_6-Jahresverbrauch ‹850 kg: ab 01.01.2015. SF_6 in Fahrzeugreifen. Nachfüllverbot: Verwendung von F-Gasen oder Mischungen, die F-Gase enthalten, mit GWP ≥2.500 für die Instandhaltung und Wartung von Kälteanlagen mit Füllmengen, die ›5 t CO_2 Äq. entsprechen: ab 01.01.2020	Verwendungsverbote: Verwendung von SF_6 in Magnesium-Gießereien und beim Recycling von Magnesium-Legierungen. Für kleine Gießereien mit SF_6-Jahresverbrauch ‹850 kg: ab 01.01.2015. SF_6 in Fahrzeugreifen. Nachfüllverbot: Verwendung von F-Gasen oder Mischungen, die F-Gase enthalten, mit GWP ≥2.500 für die Instandhaltung und Wartung von Kälteanlagen mit Füllmengen, die ≥*40* t CO_2 Äq. entsprechen: ab 01.01.2020. *Ausnahme für Anwendungen für den Temperaturbereich von ‹-50°C.* *Bis 01.01.2015 sind ausgenommen: Wiederaufbereitete F-Gase mit GWP ≥2500 für die Wartung und Instandhaltung bestehender Kälteanlagen (Kennzeichnung vorausgesetzt).* *Recyclierte F-Gase mit GWP ≥2500 für die Wartung und Instandhaltung bestehender Kälteanlagen, vorausgesetzt, dass sie aus solchen Anlagen zurückgewonnen wurden. Solche recyclierten F-Gase dürfen nur von Firmen verwendet werden, die sie im Zuge von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen zurückgewonnen haben.*
Artikel 12	Artikel 12
Vorbefüllungsverbot: Vorbefüllung von Kälteanlagen, Klimaanlagen und Wärmepumpen vor Inverkehrbringen oder bevor die Anlagen dem Endnutzer zur Erstinstallation zur Verfügung gestellt wurden: Ab 3 Jahre nach Inkrafttreten der Verordnung Ausnahme für hermetisch geschlossene Anlagen oder Anlagen, die nur eine Restmenge an HFKW von ‹2% der Maximalfüllmenge enthalten.	Vorbefüllungsverbot: Vorbefüllung von Kälteanlagen, Klimaanlagen und Wärmepumpen vor Inverkehrbringen oder bevor die Anlagen dem Endnutzer zur Erstinstallation zur Verfügung gestellt wurden: Ab 3 Jahre nach Inkrafttreten der Verordnung Ausnahme für hermetisch geschlossene Anlagen oder Anlagen, die nur eine Restmenge an HFKW von ‹2% der Maximalfüllmenge enthalten.

4.4.3 Weitere mögliche Verbote

Weitere Verbote wurden im Laufe der Verhandlungen zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung immer wieder von verschiedenen Anspruchsgruppen gefordert, auch um eine stringente Implementierung des EU Phase down zu sichern.

Eine Voraussetzung für ein Verbot ist grundsätzlich, dass die mögliche Marktdurchdringungsrate der Alternativen im Jahr des Verbotsbeginns bei 100% liegt. Für einige Anwendungen können im Zeitraum bis 2030 diese Voraussetzungen erfüllt werden, so dass ein HFKW-Verbot ab einem bestimmten Jahr möglich ist. Nischenanwendungen innerhalb dieser Anwendungen, für die besondere Bedingungen gelten können, werden im Rahmen dieser Studie nicht im Detail quantifiziert.

Tabelle 30 zeigt die Anwendungen, für die im MIN-Szenario für Deutschland 100% Marktdurchdringung der Alternativen angenommen werden, und stellt entsprechend die Jahre für den möglichen Beginn eines Verbots dar. Dieser Überblick wird durch Angaben zu den (sektor-durchschnittlichen) Nachfrage-Vermeidungskosten im Jahr 2030 in der entsprechenden Anwendung ergänzt.

Tabelle 30: Anwendungssektoren, in denen im MIN-Szenario 100% Marktdurchdringung der Alternativen im angegebenen Jahr erreicht wird, und Nachfrage-Vermeidungskosten im Jahr 2030 (€/t CO_2 Äq.).

Anwendung	Mögl. Beginn eines Verbots (Marktdurchdringung der AT erreicht 100%)	Nachfrage-Vermeidungskosten 2030 (€/t CO_2 Äq; gerundet)	In Vorschlag enthalten
Haushaltskühl- und -gefriergeräte	sofort		x
Supermarkt-Zentralanlagen	2020	18	(x; GWP ≥2.500)
Discounter (Zentralanlagen)	2020	3	(x; GWP ≥2.500)
Verflüssigungssätze	2020	17	(x; GWP ≥2.500)
Steckerfertige Geräte	2020	-7	x, mit Einschränkung
Kühlfahrzeuge Transporter	2020	29	(x; GWP ≥2.500)
Kühlfahrzeuge Lkw	2030	7	(x; GWP ≥2.500)
Container	2030	25	
Mobil Raumklima	2030	6	x
Einfache Splitgeräte	2020	10	
Multisplit VRF	2020	16	
Kaltwassersätze (klein)	2020	10	(x; GWP ≥2.500)
Kaltwassersätze (groß)	2030	10	(x; GWP ≥2.500)
Turboverdichter	2030	17	(x; GWP ≥2.500)
Wärmepumpen Heiz	2020	109	(x; GWP ≥2.500)

Kraftomnibus Klima	2020	33	
Nutzfahrzeug Klimaanlagen	2030	39	
See-Güterschiffsklima	2020	12	
Schiene Klima	2030	396	
Feuerlösch-23	2015	1	x
XPS-134a	2020	8	
XPS-152a	2020	‹50	
PU-Spritzschaum	2020	12	
PU-Sonstige	2020	16	

Der Überblick zeigt, dass in einigen Anwendungen, für die von der EU-Kommission noch kein Verbot vorgeschlagen wurde, die erforderliche Marktdurchdringung von 100% der Alternativtechnologien bis 2030 erreicht wird. Dies ist etwa im Schaumsektor relevant, wobei aber z.T. hohe Vermeidungskosten auftreten, und auch im Bereich der Fahrzeugklimaanlagen bei Bussen, Nutzfahrzeugen, Schiffen sowie, auch wieder verbunden mit hohen Vermeidungskosten, bei Schienenfahrzeugen.

Die diskutierten Erst- und Nachfüllverbote für HFKW mit GWP ≥2.500 in stationären und mobilen Kälteanlagen ab 2020 bzw. 2025 können so interpretiert werden, dass sie bereits die Umstellung auf Alternativtechnologien mit etwas niedrigerem GWP (<2.500) einleiten, aber die Markteinführung von Alternativen mit geringem oder keinem GWP nicht konsequent einfordern.

Weitere Ansätze für Verbote könnten auch anwendungsspezifische Begrenzungen verschiedener technischer Parameter, wie etwa der Füllmengen von HFKW-Kältemitteln oder der Kälteleistung, bieten. Dieses Konzept wurde bereits vor einigen Jahren in Schweden für Verwendungsverbote von HFCKW und HFKW entwickelt und bezog sich auf die Füllmenge an HFKW-Kältemitteln: Von einem allgemeinen Verbot von HFKW-Kältemitteln in der Industriekälte wurden kleine Industriekälteanlagen mit Füllmengen <50 kg ausgenommen (Schwarz et al. 2011; S. 292).

Auch die schweizerische Chemikalien-Risikoreduktionsverordnung (ChemRRV) führt ab dem 01.12.2013 verschiedene Verbote für das Erstellen von stationären Kälteanlagen ein, die den Einsatz „in der Luft stabilen Kältemitteln“, also auch HFKW, unterbinden. Diese Verbote beziehen sich jedoch nicht auf ganze Anwendungen, sondern auf bestimmte Anwendungsbereiche von HFKW in stationären Anlagen, die mit Hilfe technischer Parameter abgegrenzt werden. Es gelten Verbote des Inverkehrbringens von stationären Anlagen mit HFKW für folgende Anwendungen[92]:

- Klimakälteanlagen und Wärmepumpen mit Kälteleistung >600 kW
- VRF/VRV Systeme mit >40 Verdampfereinheiten und Kälteleistung >80 kW
- Gewerbekälteanlagen: TK mit >30 kW, NK mit >40 kW, kombinierte TK und NK mit NK >40 kW und TK >8kW
- Industriekälteanlagen mit Kälteleistung >400 kW,

[92] Liste der Änderungen der Chemikalien-Risikoreduktionsverordnung: http://www.bafu.admin.ch/chemikalien/01415/01426/index.html?lang=de (13.11.13)

- Tiefkühlung mit einer Kälteleistung von >100 kW
- Kunsteisbahnen (außer temporäre Anlagen)

Ausnahmen von diesen Verboten können befristet eingeräumt werden, sofern nach dem Stand der Technik die Norm EN 378 ohne Anwendung von HFKW-Kältemitteln nicht eingehalten werden kann.

Derartige Verbote basieren auf genauen Untersuchungen des aktuellen Standes zur Ersetzbarkeit von HFKW-Kältemitteln in großen Anwendungen und könnten auch für Deutschland entwickelt werden. Trotzdem muss mit juristischen Schwierigkeiten bei der Implementierung gerechnet werden, da das Argument der Wettbewerbsverzerrung trotz der möglichen Ausnahmeregelung besteht.

4.4.4 Bewertung von Verboten als umweltpolitisches Instrument

In diesem Abschnitt wird eine kurze Bewertung von Verboten als umweltpolitisches Instrument im Kontext von F-Gasen gegeben. Dabei werden die gleichen Bewertungskriterien diskutiert, die auch für die HFKW-Steuer in Abschnitt 4.3.5.2 angelegt wurden: Die ökologische Effektivität orientiert sich daran, wie gut ein Instrument ein vorgegebenes ökologisches Zielniveau erreicht (ökologische Treffsicherheit) und wie schnell dieses Ziel erreicht wird (Wirkungsgeschwindigkeit). Zum anderen wird bewertet, ob das Ziel ökonomisch effizient erreicht wird, d.h. zu minimalen Kosten und mit dynamischen Innovationswirkungen. Darüber hinaus spielen Verteilungsaspekte in der Bewertung eine Rolle.

4.4.4.1 Ökologische Effektivität

Durch Verbote kann die Nachfrage nach HFKW oder bestimmten einzelnen Gasen in spezifischen Anwendungen komplett ausgeschaltet werden. Damit ergibt sich eine unmittelbare Lenkungswirkung, in besonderen Fällen kann eine akute Gefahrenabwehr erzielt werden. Ein Verbot ist damit ökologisch treffsicher und erreicht die ökologische Wirkung je nach politischer Durchsetzbarkeit unmittelbar.

4.4.4.2 Ökonomische Effizienz

Ein Verbot von HFKW in bestimmten Anlagen betrifft alle Hersteller oder Anwender dieser Anlagen unabhängig von ihrer jeweiligen Möglichkeit, auf Alternativgase oder Alternativtechnologien auszuweichen. Die Vermeidungskosten fallen demnach in Höhe der individuellen Verläufe der Grenzvermeidungskostenkurven und der durch das Verbot nötigen Vermeidung an. Für manche Akteure, die einen hohen Anteil der verbotenen Anwendungen herstellen, befüllen oder nutzen, fallen damit hohe Kosten an, während andere Akteure kaum oder gar nicht betroffen sind. Darüber hinaus unterscheiden sich die Kosten für die betroffenen Akteure entsprechend der Struktur ihrer Anwendungen und der Möglichkeit, Vermeidungsmöglichkeiten zu implementieren, also anhand der jeweiligen Verläufe der Grenzvermeidungskostenkurven. Ein Ausgleich der Grenzvermeidungskosten zwischen den Akteuren wie bei einem Marktinstrument (z.B. einer HFKW-Steuer) findet nicht statt. Damit ist eine akteursspezifische Entscheidung anhand der individuellen Verläufe der Vermeidungskostenkurven zwischen Vermeidung bis zum ökonomisch effizienten Niveau und Zahlung der Steuer für weiteren Verbrauch nicht möglich. Ein Verbot ist demnach nicht prinzipiell ökonomisch effizient, es führt zu einer ineffizienten Allokation der Vermeidungsmengen.

In der konkreten umweltpolitischen Diskussion um Verbote von HFKW in bestimmten Anwendungen werden allerdings sowohl auf EU-Ebene als auch auf nationaler deutscher Ebene nur solche spezifischen Verbote diskutiert, wo davon ausgegangen wird, das zum Zeitpunkt des Wirksamwerdens des Verbots ökonomisch und technisch tragfähige Alternativen zur Verfügung stehen. Insofern betreffen die theoretisch beschriebene ineffiziente Allokation und die Gefahr von unverhältnismäßigen Kosten insbesondere die Hersteller und Betreiber von Nischenprodukten, die unter die Definition der verbotenen HFKW-Anwendung fallen, aber in einer vorausgehenden technisch-ökonomischen Analyse eventuell nicht beachtet worden waren.

Auch auf der Ebene der Verteilungswirkung haben Verbote ungleiche Wirkungen. Kosten fallen nur für diejenigen Akteure an, die vom Verbot betroffene Anwendungen oder Gase herstellen, führen oder nutzen. Insbesondere klein- und mittelständische Unternehmen, die unter Umständen nur wenige Anwendungen herstellen, können von einem pauschalen Verbot besonders benachteiligt sein.

In Bezug auf die Innovationswirkung, also die Fähigkeit von Verboten, umwelttechnischen Fortschritt (Innovationsaktivitäten) zu induzieren und damit perspektivisch die Kosteneffizienz zu erhöhen, können Verbote zur Innovation oder Verhaltensänderung der betroffenen Marktteilnehmer anregen. Dies trifft insbesondere in den Fällen zu, in denen Anlagen, die vergleichbare Leistungen liefern, nicht ausreichend zur Verfügung stehen oder vergleichbare Leistungen gar nicht geliefert werden können, so dass Hersteller und Verbraucher langfristige Anreize erfahren, auf alternative, umweltfreundlichere Gase, Anlagen oder Produkte auszuweichen. Da allerdings konkrete Verbote nur für Anwendungen diskutiert werden, für die ab dem Verbotsjahr Alternativen mit 100% Marktdurchdringung zur Verfügung stehen, ist die Innovationswirkung insgesamt eher als gering einzustufen. Darüber hinaus sind Verbote in sich nicht dynamisch, d.h. sie bieten im Gegensatz zu Marktinstrumenten keinen Anreiz über das Verbot hinaus, Innovationen herbeizuführen. Unter Umständen ergibt sich auch eine Innovationsbremse, da Hersteller keinen Anreiz haben, innovative Alternativen in den Markt zu bringen, wenn diese eine Verschärfung des Verbots für bestehende Anwendungen bewirken könnten (auch Schweigekartell der Oberingenieure genannt[93]).

4.4.4.3 Beschäftigungseffekte

Die Beschäftigungseffekte im Zusammenhang mit Verboten lassen sich nur dann explizit abschätzen, wenn konkrete Verbotsszenarien definiert sind.

Qualitativ treten die im Abschnitt 4.3.5.2.5 für F-Gas-Steuern dargestellten und in Abbildung 44 illustrierten Effekte auf.

[93] Vgl. z.B. Rennings et al.(2008)

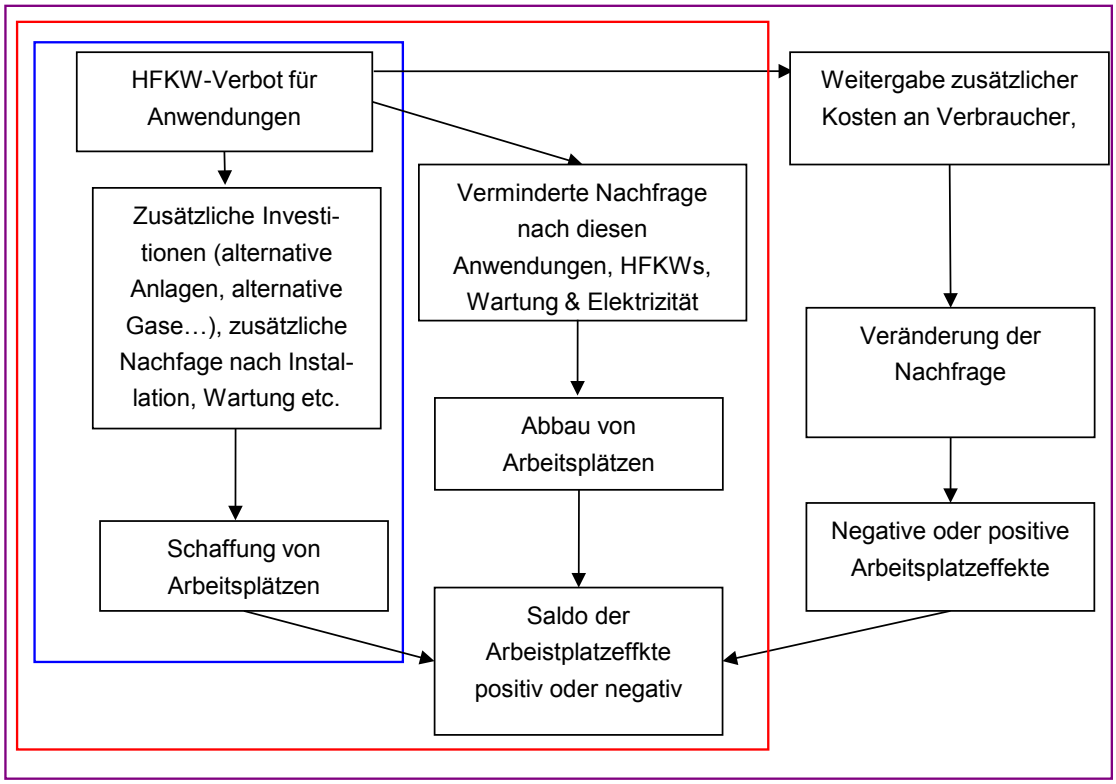


Abbildung 44: Ökonomische Mechanismen bei Schaffung und Abbau von Arbeitsplätzen durch ein Verbot von bestimmten HFKW-Anwendungen. Quelle: Eigene Darstellung nach Quirion und Demailly (2008).

Durch ein Verbot von bestimmten HFKW in bestimmten Anlagentypen entstehen negative Impulse in den Sektoren, die diese Anlagen herstellen oder Vorleistungen zur Herstellung liefern sowie in Bereichen, die weitere Inputs zur Installation, zum Betrieb, zur Instandhaltung oder der Reparatur dieser HFKW-Anwendungen beitragen. Dies betrifft auch die Produktion von HFKW. Gleichzeitig entstehen positive Impulse für Anwendungen, die gleiche Leistungen auf Basis anderer Gase liefern sowie für die Produktion der alternativen Gase. Diese Alternativanlagen werden verstärkt nachgefragt bzw. Endkunden weichen auf alternative Produkte aus. Der Nettoeffekt auf die Sektoren Maschinen, chemische Industrie (Gase und zusätzliches Material für Schäume), Reparatur, Instandhaltung und Installation und elektrische Energie hängt davon ab, ob die negativen Impulse für diese Sektoren durch das Verbot oder die positiven Impulse aufgrund der verstärkten Nachfrage nach Alternativanwendungen stärker ist.

Da ein Verbot zusätzliche Neuinvestitionen mit sich bringt, kann auf Seiten der Sektoren Maschinen und Zuliefersektoren ein positiver Saldo erwartet werden. Allerdings ist zu bedenken, dass verstärkte Investitionen und andere Kosten, die durch Verbote induziert werden, an die Verbraucher weitergegeben werden und diese – aufgrund ihrer höheren Kosten – ihre allgemeine Nachfrage nach Konsumgütern entsprechend verringern werden. Der Effekt dieses Nachfragerückgangs hängt davon ab, welche Konsumgüter betroffen sind und wie hoch die zusätzlichen Kosten sind.

4.5 Weitere mögliche Maßnahmen

Einige weitere Maßnahmen sind im Hinblick auf ihre Eignung zur Minderung von Emissionen fluorierter Treibhausgase identifiziert worden, vor allem vor dem Hintergrund des EU Phase down von HFKW.

4.5.1 Forschung, Information und Weiterbildung

Wie aus den Betrachtungen zu Barrieren (Kapitel 1) ersichtlich wird, stellt ein Mangel an Informationen und Erfahrungen mit Alternativen bei Anlagenbetreibern und Anlagenbauern ein relevantes Hindernis bei der Einführung von Alternativtechnologien dar.

In Dänemark wurden mit der Einführung der F-Gas-Steuer und der Verwendungsverbote für F-Gase auch nicht-regulatorische Maßnahmen umgesetzt, vor allem Forschungsmaßnahmen an einem staatlichen Forschungs- und Entwicklungszentrum für Alternativtechnologien (Kapitel 4.3.2.1).

Auch der Vorschlag der EU-Kommission zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung umfasst nicht nur regulatorische Maßnahmen, sondern sieht auch vor, dass in die Ausbildungsprogramme zur Personal-Zertifizierung auch Inhalte zu „Technologien, die die Verwendung von fluorierten Treibhausgasen ersetzen oder verringern können, sowie deren sichere Handhabung“ aufgenommen werden (Art. 8(2)).

Über diese Maßnahme des EU-Vorschlags hinaus, könnten folgende Maßnahmen zu Information, Forschung und Weiterbildung auf nationaler Ebene umgesetzt werden:

- Ausarbeitung von Informationsmaterialien und Durchführung von Informationskampagnen in Deutschland zum Einsatz von Alternativtechnologien im Rahmen von Fachmessen und Fachveranstaltungen sowie in der Fachpresse der verschiedenen Anwendungssektoren und fachübergreifenden Branchenveranstaltungen; Beratung von Endverbrauchern;
- Zusammenführung der derzeit in Deutschland vor allem in verschiedenen Firmen, Fachschulen und Institutionen vorhandenen Kenntnisse zu Alternativtechnologien in einem Kompetenzzentrum oder Kompetenznetzwerk für Alternativtechnologien, das unabhängige Informationen zu Alternativtechnologien der Fachöffentlichkeit und dem Endkunden zur Verfügung stellt und Schulungen anbietet. Eine ähnliche Institution ist das Trainingscenter des niederländischen Industrieverbands NVKL, das im April 2010 in Ede eröffnet wurde[94].
- Forschung und (Weiter-)Entwicklung von Alternativtechnologien, vor allem in Anwendungen, für die heute noch hohe Vermeidungskosten angesetzt werden müssen; Verbreitung von Forschungsergebnissen im Rahmen von Fachveranstaltungen;

4.5.2 Fördermaßnahmen

Die Finanzierung von Fördermaßnahmen kann vor allem dann gut abgesichert werden, wenn sie als komplementäre Maßnahmen zu regulatorischen Instrumenten dienen, bei denen Einnahmen erzielt werden (HFKW-Steuer; Gebühren für Quoten). Aber auch ohne europäischen Phase down und ohne HFKW-Steuer sind Fördermaßnahmen auf nationaler Ebene umsetzbar, wie das Beispiel des

[94] http://www.ammonia21.com/news/view/1841

Förderprogramms des Bundesumweltministeriums für gewerbliche Kälteanlagen zeigt.

Dieses bestehende Förderprogramm von Klimaschutzmaßnahmen an gewerblichen Kälteanlagen läuft seit 2009 innerhalb der nationalen Klimaschutzinitiative und ermöglicht Beratungs- und Investitionszuschüsse für den Einsatz von Klimaschutztechnologien in der Gewerbekälte[95].

Förderbar sind

- die Erstellung einer energetisch-kältetechnischen Bestandsaufnahme einer bestehenden Kälteanlage durch einen Sachverständigen (Status-Check; maximal 1.000 Euro, bei besonderem Berechnungsaufwand maximal 1.300 Euro);
- Maßnahmen zur energetischen Sanierung von Altanlagen, die zu einer erheblichen Verminderung des Energieverbrauchs führen (Basisförderung Altanlagen);
- Maßnahmen an Neuanlagen, für die erhebliche Verminderungen des Energieverbrauchs nachgewiesen werden können (Basisförderung Neuanlagen);
- Maßnahmen zur Nutzung der Abwärme aus Produktionsprozessen und Kälteanlagen, nicht-elektrisch angetriebene Kälteanlagen (Bonusförderung).

Die Richtlinie wird überarbeitet, um den neuen Zielsetzungen zur Energieeffizienz in Deutschland Rechnung zu tragen.

Eine 2012 durchgeführte Evaluierung der innerhalb des Programms in den Jahren 2009-2011 ergangenen Förderbescheide hat Treibhausgas-Minderungskosten von durchschnittlich -41 €/t CO_2 Äq. ermittelt (gesamtwirtschaftliche Perspektive), die jedoch zwischen verschiedenen Anwendungssektoren stark schwanken (hohe Kosten in der Supermarktkälte, negative Kosten in der Industriekälte).

Neben der Fortführung dieses Förderprogramms für gewerblich genutzte Kälteanlagen könnten weitere Fördermaßnahmen angedacht werden.

Beispielsweise könnten Fördermaßnahmen folgende Elemente umfassen:

- Andere bestehende Förderprogramme, etwa für Wärmepumpen und ORC-Anlagen, sollten die Verwendung von Alternativen zu F-Gasen einbeziehen und die Förderhöhe auch an das GWP der verwendeten Kälte- bzw. Arbeitsmittel anpassen.
- Neue Förderprogramme zur Investitionsförderung, auch für kleine und mittlere Unternehmen, die bisher beim Förderprogramm für gewerbliche Kälteanlagen nicht die nötigen Schwellenwerte bei der Kälteleistung und/oder dem Jahresenergieverbrauch erreichen. Ein solches Förderprogramm könnte etwa auf kleine Handwerksbetriebe zugeschnitten sein, die aus Mangel an Informationen von selbst keine Anlage mit Alternativtechnologien wählen würden.
- Weiterbildung von technischem Personal zu Projektierung, Bau und Wartung von Alternativtechnologien, vor allem für Techniker, die ihren Sachkundenachweis bereits erhalten haben und sich nicht laufend fortbilden müssen.
- Forschungsförderung für Alternativtechnologien: Forschungsprojekte zur (Weiter-) Entwicklung von Alternativtechnologien in Anwendungen, in denen derzeit keine oder nur wenige Alternativen zu hohen Vermeidungskosten zur Verfügung stehen. Dies

[95] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2008: Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen an gewerblichen Kälteanlagen vom 01.Januar 2009. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/foerderrichtlinie_kaelte.pdf

könnte etwa auf Klimaanlagen in Nutzfahrzeugen, Bussen und Schienenfahrzeugen zutreffen.

4.5.3 Beteiligung an der Gestaltung von Normen und Standards

In der Untersuchung der Barrieren zur Verbesserung der Marktdurchdringung von Alternativen wurde deutlich, dass vor allem bei Massenprodukten bestehende technische Normen und Standards die Verwendung von halogenfreien Alternativen einschränken bzw. die breite Akzeptanz von manchen Alternativtechnologien behindern.

Dies trifft etwa auf die für die Kältetechnik besonders relevante europäische Norm EN 378 zu, die je nach Aufstellbereichen[96] und Aufstellarten[97] Begrenzungen der Füllmengen von Kältemitteln in Kälteanlagen angibt. Es werden außerdem Anlagen mit Aufstellung „oberhalb der Erdgleiche“, die also mindestens auf Bodenhöhe installiert sind, und Anlagen mit Aufstellung „unterhalb der Erdgleiche“, also etwa in Kellerräumen oder Tiefgaragen, unterschieden.

Folgende Empfehlungen für Kältemittel-Füllmengen sind in der Norm genannt:

Begrenzungen der Höchstfüllmengen unabhängig von der Raumgröße des Aufstellortes;

Begrenzungen der zulässigen Füllmengen unter Einbeziehung des Raumvolumens: Anhand eines praktischen Grenzwerts für jedes Kältemittel (Practical limit in kg/m^3; Werte in Anhang E der Norm) wird die zulässige Kältemittel-Füllmenge errechnet.

Zum Beispiel ergeben sich für brennbare Kältemittel folgende Werte (Colbourne et al; 2010):

Für Anlagen, deren Kältemittel führende Teile sich in einem Personen-Aufenthaltsbereich oberhalb der Erdgleiche befinden, wird bei Kälteanlagen eine maximale Füllmenge von 1,5 kg oberhalb der Erdgleiche an Orten der Klasse A, von 2,5 kg an Orten der Klasse B und von 10 kg (bzw. 25 kg, wenn sich Kompressor und Sammler in einem Maschinenraum oder im Freien befinden) an Orten der Klasse C aufgeführt.

---

[96] Es 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.

[97] Es 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.

Für Anlagen mit Aufstellung oberhalb der Erdgleiche, deren Kältemittel führende Teile sich in einem Maschinenraum oder im Freien befinden, liegt die maximal empfohlene Füllmenge bei 5 kg an Orten der Klasse A und bei 10 kg an Orten der Klasse B. Für Orte der Klasse C wird keine Begrenzung der Füllmenge angegeben.

Für Kälteanlagen, die sich unterhalb der Erdgleiche befinden, wird eine generelle Empfehlung für eine Höchstfüllmenge von 1 kg an brennbaren Kältemitteln genannt, wobei keine Unterscheidung nach Aufstellbereichen erfolgt.

Für jede Anlage und jedes Kältemittel lassen sich jedoch darüber hinaus unter Einbezug des Raumvolumens am Aufstellort weitere Richtwerte für die Kältemittel-Füllmenge errechnen.

Die angegebenen Begrenzungen sind als Empfehlung zu verstehen und damit nicht im gesetzlichen Sinne verpflichtend, wenn sicherheitstechnische Maßnahmen, etwa zum Umgang mit brennbaren oder giftigen Kältemitteln, entsprechend umgesetzt sind.

Allerdings ist die Unterscheidung zwischen gesetzlich bindenden Grenzwerten und gesetzlich nicht bindenden Empfehlungen für den Einzelnen oft nicht leicht zu durchschauen. Auch die Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Richtwerte mit Einbezug des Raumvolumens am Aufstellort sind unter Umständen schwieriger zu vertreten bzw. und umzusetzen als ein einheitlicher Grenzwert für die Höchstfüllmenge, da sie bessere Sach- und Ortskenntnis erfordern und damit höheren Planungsaufwand.

Die Ausgestaltung wichtiger Normen der Kältetechnik trägt zumindest in einigen Punkten durch die vermeintlich bindende Angaben von Empfehlungen für Höchstfüllmengen nicht zur Förderung von Alternativtechnologien bei.

Um dies zu verbessern und die Verankerung von stoffspezifischen Angaben für halogenfreie Alternativen in Standardisierungsprozessen zu unterstützen, könnte eine aktive Beteiligung staatlicher Akteure in relevanten Normungsgremien und Ausschüssen angedacht werden. Eine relevante Einrichtung in Deutschland ist etwa der Fachnormenausschuss Kältetechnik („FNKä“) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., der sich mit der Erarbeitung von nationalen, europäischen und internationalen Normen für Gestaltung, Ausrüstung und Aufstellung von Kälteanlagen einschließlich Wärmepumpen beschäftigt. Relevante Gremien innerhalb des FNKä, die sich ggf. mit Fragen zur Verwendung von Alternativtechnologien befassen, sind der Arbeitsausschuss 1 „Sicherheit und Umweltschutz“ und etwa die Arbeitskreise „Kühlanlagen und Kühleinrichtungen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen“, „Anwendung von Kältemitteln der Gruppe 3“ und „CO_2“.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Dieses abschließende Kapitel beinhaltet eine Zusammenschau der im Rahmen des Vorhabens bearbeiteten Fragestellungen.

5.1 Der EU-Vorschlag zur Revision der F-Gase-Verordnung

Der EU-Vorschlag zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung enthält eine Reihe von Elementen, welche die Entwicklung der HFKW-Nachfrage in Deutschland und Europa beeinflussen. Hauptmaßnahme sind EU-weite Mengenbeschränkungen für HFKW, die gemäß einem Reduktionsschema im Zeitraum von 2015 bis 2030 nach Treibhauspotenzial gewichtet quantitativ verringert werden. Diese Maßnahme soll zur allmählichen Einführung von Alternativtechnologien mit geringem oder keinem Treibhauspotenzial führen, indem sie die verfügbaren HFKW-Mengen in der EU stark verknappt und somit ein starkes Preissignal an den Markt gibt. Dieser Zusammenhang tritt allerdings nur bei ambitionierten Reduktionsschritten auf. Eine Aufweichung des Reduktionsschemas bzw. eine zu große verfügbare HFKW-Restmenge nach Ende der Reduktionsschritte führen zu einem schwachem Preissignal und damit zu Verzögerungen bei der Umsetzung, welche die Wirkung der Maßnahme Phase down letztlich mindern würden. Auch würde eine deutliche Aufweichung des Phase down verstärkt zu nationalen Maßnahmen in den Mitgliedsstaaten führen.

Da der Gesetzgebungsprozess zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung war bis zur Erstellung dieses Berichtes noch nicht abgeschlossen war, bilden die dargestellten Ergebnisse nur einen Verhandlungsstand und nicht das Ergebnis der Revision ab. Die Analysen beruhen auf dem Verhandlungstand vom Februar 2013, welcher von der im April 2014 veröffentlichten neuen F-Gas-Verordnung 517/2014 in einigen Details deutlich abweicht. Die erarbeiteten Ergebnisse wurden jedoch bereits im Laufe dieses Vorhabens den Auftraggebern zur Verwendung im Verhandlungsprozess zur Verfügung gestellt. Für die künftige Wirkung der überarbeiteten F-Gase-Verordnung werden folgende Aspekte entscheidend sein:

- Festlegung des Ausgangswertes für den Phase down (Baseline) und der Reduktionsschritte;
- Implementierung des Phase down, Verteilung der Quoten und mögliche Einnahmen;
- Verbotsmaßnahmen, welche die HFKW-Nachfrage deutlich beeinflussen: Verbote von häufig gebrauchten Kältemitteln für Erst- und Nachfüllungen, Inverkehrbringungsverbote für Anlagen und Produkte mit F-Gasen mit hohem GWP;
- Tatsächliche Umsetzung.

Auch ist die im Zusammenhang mit dieser Untersuchung relevante Frage in der EU noch nicht abgeschlossen, wie im Falle eines starken Preissignals mit den bei den Produzenten und Importeuren anfallenden Erlösen umzugehen ist. Die verabschiedete Novelle sieht vor, dass die Europäische Kommission spätestens zum 1. Juli 2017 einen Bericht u.a. zu Auswirkungen der kostenlosen Quotenvergabe vorlegt.

5.2 Steuern

Steuern sind prinzipiell ein geeignetes Instrument, um technisch leicht verfügbare Potenziale zur Vermeidung von F-Gas Nachfrage zu heben. Dies wird durch Erfahrungen aus mehreren Ländern gestützt. Um Innovation (Entwicklung neuer Technologiekonfiguration und breite Verfügbarkeit von bisher nur vereinzelt

getesteten Technologiekonfigurationen) zu befördern sind komplementäre Fördermaßnahmen sinnvoll, z.B. Forschungs- und Innovationsförderung, -Information und Weiterbildung von Personal und Fachfirmen zu Alternativtechnologien ohne F-Gase, Bündelung von Know How in Kompetenzzentren.

Mit einer Größenordnung der erwarteten Steuereinnahmen von ca. 200 Mio. € pro Jahr (je nach Szenario wurden 162 bis 226 Mio. € für 2030 berechnet) wäre das Steueraufkommen vergleichsweise gering. Trotzdem wäre zur Wahrung der Steuergerechtigkeit eine flächendeckende Kontrolle notwendig, was die Nettoeinnahmen weiter deutlich reduzieren würde. Der ausschließliche Einführungsgrund einer solchen Steuer wäre somit der politische Wille zum Klimaschutz.

Markt- und ökologische Effekte, Ausgestaltungsoptionen und Bewertung einer nationalen F-Gas-Steuer hängen maßgeblich davon ab, ob sie als eigenständige nationale Maßnahme oder parallel zu einem EU-weiten HFKW-Phase down eingeführt werden würde, wie er im November 2012 von der EU-Kommission vorgeschlagen wurde und schließlich im Frühjahr 2014 verabschiedet wurde. Da die Inhalte dieses Berichts vor Abschluss des Verhandlungsprozesses zur Revision der F-Gas-Richtlinie erarbeitet wurden, wurden die Betrachtung entsprechend differenziert

5.2.1 Nationale F-Gas-Steuer MIT parallelem EU Phase down

Eine Kombination von nationalen Steuern in Deutschland mit einem EU Phase down führt EU-weit grundsätzlich nicht zu zusätzlichen Reduktionen der HFKW-Nachfrage, da die EU-weite Minderungsmenge durch das Phase down-Budget festgelegt ist. Gleichzeitig ist die Kosteneffizienz des Phase down nicht mehr gegeben, es sei denn, viele andere EU-Staaten führen ähnliche Steuern ein (bisher haben 3 Staaten Steuern eingeführt).

Nach den durchgeführten Modellrechnungen auf Basis des im November 2012 vorgeschlagenen EU Phase down-Fahrplans ist ein starkes Preissignal in der Größenordnung von 30 €/t CO_2-Äq zu erwarten, und zwar (je nach endgültiger Definition der Baseline) ab 2017 oder ab 2021. Vor diesem Hintergrund würde nach dieser Modellbetrachtung eine fixe nationale Steuer zwar zu Steuereinnahmen, aber innerhalb Deutschlands kaum zu einem weiteren Rückgang der HFKW-Nachfrage und HFKW-Emissionen führen. Allerdings ist die Wirkung eines frühen starken Preissignals bei zeitnaher Erhebung einer Steuer bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt. Ein frühes starkes Preissignal könnte bei anstehenden Investitionen in den Jahren vor 2017/2021, d.h. bevor ein deutlicher Preisanstieg für HFKW zu erwarten ist, Unternehmensentscheidungen deutlich beeinflussen.

Für den Fall eines schwachen Preissignals aus dem EU Phase down würde eine nationale Steuer zu einer deutlichen zusätzlichen Reduktion der HFKW-Nachfrage in Deutschland führen. Dies beeinträchtigt auf kurze Sicht die Kosteneffizienz dieses Instruments und ggf. die Wettbewerbsfähigkeit einiger Unternehmen, in dem auf HFKW setzende Akteure in Deutschland stärker belastet sind als vergleichbare Akteure in anderen Ländern. Allerdings hat eine Steuer im Falles eines schwachen Preissignals aus dem EU Phase down das Potenzial auf längere Sicht mehr Sicherheit für Investitionen in Vermeidungstechnologien zu geben. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine adäquate Durchleitung des Preissignals.

5.2.2 Nationale F-Gas-Steuer OHNE parallelen EU Phase down

Die berechneten Steuerszenarien mit Steuersätzen von 20, 30 bzw. 40 €/t CO_2-Äq. würden zu erheblichen Rückgängen der HFKW-Nachfrage und HFKW-Emissionen im Vergleich zur Referenzentwicklung ohne weitere Maßnahmen führen. Eine HFKW-Steuer ist jedoch nicht ökologisch treffsicher, in dem Sinne, dass sie ein gewünschtes ökologisches Ziel genau erreicht.

In Bezug auf Kosten für die Anwender und Verbraucher übersteigen in den modellierten Steuerszenarien von 20, 30 bzw. 40 €/t CO_2-Äq. die Kosten für die zu zahlenden Steuern jedoch die technischen Substitutionskosten. Die Steuern fallen dabei in denjenigen Anwendungsbereichen an, wo die HFKW-Substitution nicht möglich oder teurer als die Steuern wäre, die technischen Kosten jedoch in denjenigen Anwendungsbereichen, wo die Substitution günstiger ist als der Steuersatz. Damit entfalten die nationalen Steuern in etwa die gleiche Wirkung wie ein starkes Preissignal im Falle des Phase down.

Die durch die Steuer generierten Einnahmen könnten für Forschungs- und Entwicklungsprozesse verwendet werden. Positive Innovationsimpulse auf jeder Wertschöpfungsstufe können im Rahmen einer Steuer dadurch erzielt werden, dass Minderungsaktivitäten zu einer Verringerung der Steuerbelastung führen und damit den Gewinn oder das verfügbare Einkommen der Akteure erhöhen. Damit stehen mehr Ressourcen für Forschung und Entwicklung zur Verfügung. Die Arbeitsplatzeffekte einer deutschen HFKW-Steuer wären im Saldo leicht positiv, in der Größenordnung von 2000 zusätzlichen Beschäftigten.

5.3 Verbote

Verbote sind in den Vorschlägen zur Überarbeitung der F-Gase-Verordnung enthalten. Die EU-Kommission hält sie als ergänzende Maßnahme zum EU Phase down als für notwendig. Ähnlich wie beim Ausstieg aus den ozonschichtzerstörenden Substanzen können sie dazu beitragen, die Umstellung auf Alternativtechnologien in einzelnen Sektoren zu steuern und damit für mehr Planungssicherheit sorgen.

Da der Vorschlag für die Überarbeitung der F-Gase-Verordnung auf Artikel 191 und 192 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union gestützt wurde (siehe Kapitel 1.3), ist es einzelnen Mitgliedsstaaten möglich, verstärkte Klimaschutzmaßnahmen beizubehalten bzw. in die Wege zu leiten.

Nationale Verbote zusätzlich zum Phase down sind aus rechtlichen Gründen schwierig und aufgrund des derzeit ambitionierten Entwurfs für die F-Gase-Verordnung nicht zu rechtfertigen. Sie könnten allenfalls bei einer deutlichen Abschwächung des Entwurfs erwogen werden. Grundsätzlich kommen nationale Inverkehrbringungsverbote in Ergänzung zu Verboten auf EU Ebene bei folgenden Anwendungen in Frage, wobei zum Teil hohe Vermeidungskosten auftreten: In der XPS- und PU-Schaumproduktion und bei der Klimatisierung von Bussen, Nutzfahrzeugen, Schiffen und Schienenfahrzeugen.

Daneben wäre auch denkbar, Verbotselemente aus der EU-Verordnung, die bestimmte GWP-Grenzwerte für Kältemittel vorschlagen, zu verschärfen: Das vorgeschlagene Erstfüllungsverbot für Kältemittel mit GWP ≥2.500 könnte abgewandelt mit einem niedrigeren Grenzwert versehen werden oder früher in Kraft treten.

Verbote sind auch als ergänzende Maßnahmen zu nationalen Steuern denkbar (Kapitel 4.3.5) und können parallel als Lenkungsmaßnahme eingeführt werden. In Deutschland würden sie vor allem im Schaumsektor bei hohen Umstellungskosten sinnvoll sein, um bei einer auf Bulkware beschränkten Steuer ein Ausweichen auf importierte Schäume zu unterbinden (siehe 4.3.5.4).

5.4 Innovationsförderung und Öffentlichkeitsarbeit

Weitere mögliche Maßnahmen wurden in Kapitel 4.5 vorgestellt. Es handelt sich dabei etwa um Fördermaßnahmen, Informations- und Weiterbildungsmaßnahmen zu Alternativtechnologien, Begleitung von Standardisierungsprozessen etc. Sie können in Ergänzung zu anderen Maßnahmen oder auch eigenständig umgesetzt werden.

Als besonders sinnvoll werden solche Maßnahmen erachtet, die aus den Einnahmen für andere politische Maßnahmen wie etwa Steuern oder Gebühren für Quoten im Zuge des Phase down finanziert werden. Solche Mittel sollten dann unbedingt in weitere nicht-regulatorische Maßnahmen investiert werden, um die Akzeptanz des Maßnahmenpaketes zu verbessern.

6 Quellenverzeichnis

Australische Regierung, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities 2012: Calculating the equivalent carbon price on synthetic greenhouse gases; http://www.environment.gov.au/cleanenergyfuture/carbon-price/publications/pubs/fs-calculating-carbon-price.pdf.

Bipro 2008: Stand des Einsatzes von halogenfreien Treibmitteln in Schäumen vor dem Hintergrund des Art. 10(2) d) der Verordnung (EG) 842/2006; Abschlußbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 363 01 188; S. 57.

BRA 2012: „Guidance for the Service of Hydrocarbon Refrigerant Equipment in a Retail Environment“ und „Code of Practice – Design and Manufacture of Refrigerated Cabinets Running on Hydrocarbon Refrigerants“). http://www.area-eur.be/system/files/Documents/Service%20of%20Hydrocarbon%20Refrigerant%20Equipment%20in%20a%20Retail%20Environment%20(2).pdf.

Braathen, N. A. 2011. Interactions Between Emission Trading Systems and Other Overlapping Policy Instruments. OECD Green Growth Papers 2011-02. Paris: OECD Publishing.

Bundesamt für Umwelt (BAFU): Machbarkeitsstudie- Schlussbericht: Pfand in Verbindung mit einer vorgezogenen Entsorgungsgebühr auf synthetische Treibhausgase. Erarbeitet durch CSD Ingenieure. Juli 2012 (unveröffentlicht).

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2008: Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen an gewerblichen Kälteanlagen vom 01.Januar 2009. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/foerderrichtlinie_kaelte.pdf

Ciconcov R. 2010: Natural refrigerants in developing countries – problems and suggestions. 9. IIR Gustav Lorentzen Konferenz, Sydney, Australien.

Cohr Pachai, A. 2011: R290 chillers and R600a heat pumps replacing a R22 system in a hospital. Präsentation bei der Atmosphere-Tagung 2011, Johnson Controls, 11.10.11.

http://www.atmo.org/presentations/files/89_Cohr-Pachai-R290-chillers-andR600a-heat-pumps.pdf

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

Dänemark: Gesetz Nr. 208 vom 22.März 2001.

Dänisches Umweltministerium 2009: Denmark’s 5th National Communication on Climate Change under the UNFCCC and the Kyoto Protocol; S.150.

Danish Ministry of the Environment/ Environmental Protection Agency 2011: Going Natural – The Danish road to natural refrigerants.

Environment Canada 2011: Environmental Code of Practice for Elimination of Fluorocarbon Emissions from Refrigeration and Air Conditioning Systems. Entwurf. http://www.ec.gc.ca/Air/default.asp?lang=En&n=C2EAB075-1#toc1_11

ERIE/Armines 2011: Previsions on banks and Emissions from 2006 to 2030 for the European Union. Abschlussbericht im Auftrag der Europäischen Kommission.

European Environment Agency 2011: Environmental tax reform in Europe: opportunities for eco-innovation, EEA Technical Report No. 17/2011; S. 6.

EU-Kommission 2007: Commission Staff Working Document accompanying the Green Paper on market-based instruments for environment and related policy purposes. SEC(2007)388.

EU-Kommission 2010: Communication from the Commission – Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth; COM(2010)2020final. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:2020:FIN:EN:PDF

EU-Kommission 2011: Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO2-armen Wirtschaft bis 2050; KOM(2011) 112 endgültig. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:DE:PDF

EU-Kommission 2012: Reducing fluorinated greenhouse gases – Further action at EU level. Results of the public consultation September 2011 – December 2011. http://ec.europa.eu/clima/consultations/0011/summary_en.pdf

EU-Kommission 2012: COMMISSION STAFF WORKING PAPER SWD(2012) 364 final: IMPACT ASSESSMENT "Review of Regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases", accompanying the document "Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL on fluorinated greenhouse gases ({COM(2012) 643 final}, {SWD(2012) 363 final})

Greenpeace 2010: Cool technologies: Working without HFCs – 2010. http://www.unep.ch/ozone/Meeting_Documents/oewg/30oewg/conf-ngos/COOLING%20%20WITHOUT%20HFCs%20-%202010-GREENPEACE.pdf.

GTZ Proklima 2009: Natural Foam Blowing Agents.

http://www.giz.de/Themen/en/dokumente/gtz2009-en-proklima-nat-blow-agents.pdf

GTZ Proklima 2010: Guidelines for the safe use of hydrocarbon refrigerants.

http://www.ubf-aca.be/pdf-en/Proklima%20guidelines%202010.pdf.

GIZ Proklima 2011a: Conversion of Supermarket Refrigeration Systems from F-Gases to Natural Refrigerants. Factsheet:

http://www.gtz.de/de/dokumente/giz2011-en-proklima-projectsheet-southafrica.pdf.

GIZ Proklima 2011b: Converting XPS Foam Production from F-Gases to climate-friendly CO2-Technology. Factsheet:

http://www.gtz.de/de/dokumente/giz2011-en-proklima-projectsheet-china-xps.pdf.

GIZ Proklima 2011c: Insulation in commercial refrigeration using water-blown PU foam in the Islamic Republic of Iran. Factsheet: http://www.gtz.de/de/dokumente/giz2011-en-iran-commercial-refrigeration.pdf.

GIZ Proklima 2011d: Showcase Production of Hydrocarbon Room Air-Conditioning Systems in China. Factsheet:

http://www.unepie.org/ozonAction/information/mmcfiles/6292-e-GTZACChina.pdf.

GIZ Proklima 2012: Demonstrating technology cooperation worldwide: Examples of green cooling in air-conditioning and refrigeration. Präsentation bei der Atmosphere-Tagung 2012, Marion Geiss, 06.11.12.

Hepburn, Cameron. 2006. Regulation by Prices, Quantities, or Both: A Review of Instrument Choice. Oxford Review of Economic Policy 22, Nr. 2: 226–247.

HM Revenue & Customs. 2012. Carbon price floor. http://www.hmrc.gov.uk/tiin/2012/tiin4013.pdf (10.03.2013).

HM Treasury. 2010. Carbon price floor: support and certainty for low-carbon investment December. HM Revenue & Customs.

Hood, Christina. 2011. SUMMING UP THE PARTS Combining Policy Instruments for Least-Cost Climate Mitigation Strategies. International Energy Agency Information Paper.

ICF International 2010: Identifying and Assessing Policy Options for Promoting the Recovery and Destruction of Ozone Depleting Substances (ODS) and Certain Fluorinated Greenhouse Gases (F-Gases) Banked in Products and Equipment; Final Report, im Auftrag der EU-Kommission. http://ec.europa.eu/clima/policies/ozone/research/docs/ods_f-gas_destruction_report_en.pdf.

Kauffeld, M. 2012: Availability of Low GWP alternatives to HFCs. Feasibility of an early phase-out for HFCs by 2020. Report, für die Environmental Investigation Agency.

Kozakiewicz, Janusz 2011: Policy tools for assessing and diminishing F-gas emissions from equipment. Präsentation bei der Atmosphere-Tagung in Brüssel, 11.10.2011.

Matthes, Felix Chr. 2010. Der Instrumenten-Mix einer ambitionierten Klimapolitik im Spannungsfeld von Emissionshandel und anderen Instrumenten. www.oeko.de.

McInerney, Patrick; Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities, australische Regierung 2011: Application of a carbon equivalent price for synthetic greenhouse gases; Präsentation 17.08.2011, Sydney.

McCann, Michael; Thinkwell Australia: Working gases, technology and tax – the future of coolth. Präsentation im Rahmen einer Seminarreihe des Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating (AIRAH), Sommer 2012. (http://www.airah.org.au/imis15_prod/Content_Files/UsefulDocuments/The%20effect%20of%20the%20carbon%20equivalent%20levy%20on%20refrigerant%20price%20and%20usage.pdf)

Ministère de l'Environnement: Modalités de la mise en oevre d'une tax sur les gaz à effet de serre fluorés utilisés en tant que fluides frigorigènes. Document de concertation. Dezember 2012.

National Center for Environmental Economics: website on Chlorofluorocarbon Taxes and Allowance Trading: http://yosemite1.epa.gov/EE/epa/eed.nsf/fa6512c6e51c4a208525766200639df2/86a2750ed83fe1d88525774200597f3a!OpenDocument

Norwegian Directorate of Customs and Excise 2012: Excise duty on hydrofluorocarbons (HFCs) and perfluorocarbons (PFCs), Circular No. 7/2012, http://www.toll.no/upload/aarsrundskriv/Engelske/HFC-PFC.pdf (14.05.2012).

Öko-Recherche 2012: Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland 1995-2011. Endbericht zum Forschungsvorhaben Inventarermittlung der F-Gase 2011, derzeit unveröffentlicht.

Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on fluorinated greenhouse gases; COM(2012) 643 final; 7.11.2012

Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on fluorinated greenhouse gases – Presidency text; Interinstitutional File 2012/0305 (COD); 27 Februar 2013

Republik Slowenien 2008: Erweiterung des Gesetzes über Kohlendioxidemissionen (OJ RS 78/08) als Teil der Umweltsteuergesetzgebung.

Rennings et al. 2008: Instrumente zur Förderung von Umweltinnovationen – Bestandsaufnahme, Bewertung und Defizitanalyse – Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, Umwelt, Innovation, Beschäftigung 02/2008. http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3466.pdf

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.: Preparatory study for a review of Regulation (EC) No. 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases. Final Report, for the EU Commission, September 2011. http://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/docs/2011_study_en.pdf

Schwarz, W. & Gschrey, B. 2009: Final Report to Service Contract to assess the feasibility of options to reduce SF_6 from the EU non-ferrous metal industry and analyse their potential impacts. S.10 ff.

Screen, Nick. 2012. Impact of the UK Carbon Price Floor. In: OECD & E3G workshop: Beyond getting the prices right. Redpoint Energy.

Shecco 2012: Guide 2012: Natural refrigerants – Market growth for Europe. http://guide.shecco.com/

SKM Enviros 2012: Further Assessment of Policy Options for the Management and Destruction of Banks of ODS and F-gases in the EU; Final Report, im Auftrag der EU-Kommission. http://ec.europa.eu/clima/policies/ozone/research/docs/ods_f-gas_destruction_report_2012_en.pdf

Statens Offentliga Utredningar (2009): Skatt Pa fluorerade växthusgaser, http://www.regeringen.se/content/1/c6/12/89/80/c7d0b072.pdf (03.05.2012).

Statistics Norway (2008): Katherine Loe Hansen 2008: Statistics Norway, Department of Economic Statistics, Environ-mental Statistics – Emissions from consumption of HFCs, PFCs and SF6 in Norway; S.3.

Statistics Norway (2009):Eli Marie Naess & Tone Smith 2009: Statistics Norway, Department of Economic Statistics, Environmental Statistics – Environmentally related taxes in Norway: Totals and divided by industry,

UBA 2008: Vergleichende Bewertung der Klimarelevanz von Kälteanlagen und –geräten für den Supermarkt. Bericht. http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-k/k3624.pdf.

UBA 2010: Fluorierte Treibhausgase vermeiden – Wege zum Ausstieg. Bericht.

http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3962.pdf.

UNEP 2010 (Hrsg.): Barriers to the use of low-GWP refrigerants in developing countries and opportunities to overcome these. Von: Colbourne D., im Auftrag von OzonAction.

UNEP TEAP 2010 Progress Report, Volume 1- Part 2: *Scoping study on alternatives to HCFC refrigerants under high ambient temperature conditions*, May 2010.

http://www.unep.ch/ozone/Assessment_Panels/TEAP/Reports/TEAP_Reports/teap-2010-progress-report-volume1-May2010.pdf

UNEP 2011 (Hrsg.): HFCs: A Critical Link in Protecting Climate and the Ozone Layer. http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/HFC_report.pdf

UNIDO 2010: Supporting Developing Countries in Shifting away from Ozone depleting Substances. Präsentation von Si Ahmed S. M. ATMOsphere 2010, Brüssel, Belgien.

http://www.atmo.org/presentations/files/13_SiAhmed-UNIDO.pdf.

US EPA 2012: *Listing of hydrocarbon refrigerants as substitutes for household refrigerators and freezers and retail food refrigeration*. http://www.epa.gov/ozone/snap/regulations.html;

Velders G.J.M., Ravishankara A. R., Miller M.K., Molina M. J., 4 Alcamo J., Daniel J.S., Fahey D.W., Montzka S.A. und Reimann S. 2012: Preserving Montreal Protocol Climate Benefits by Limiting HFCs. Science 335, 922-923.

Wilson, L. & Kelly, J.: Refrigerant substitution puts lives at risk (http://www.theaustralian.com.au/national-affairs/climate/refrigerant-substitution-puts-lives-at-risk/story-e6frg6xf-1226510195974).

WRI. 1996. Ozone Protection in the United States – Elements of Success. Ed. Elizabeth Cook. World Resources Institute (WRI). EU-Kommission 2007: Green Paper on market-based instruments for environment and related policy purposes. COM(2007)140final.

7 Anhang

7.1 Beschreibung des Modells

7.1.1 Annahmen

Zunächst wurden Projektionen hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Emissionen und der Nachfrage im deutschen F-Gas-Modell im Jahr 2013 enthaltenen 43 HFKW-Anwendungen[98] bis 2030 erstellt und somit die Datenbasis der Emissionsberichterstattung weiterentwickelt.

Von den 43 Sektoren wurden 15 nicht auf Alternativtechnologien hin untersucht, da die Nachfragemengen und damit das quantitative Reduktionspotenzial niedrig sind: Kranklimaanlagen, Klimaanlagen für Passagier- und Marineschiffe, für Landmaschinen, Gewerbliche Tieftemperaturgeräte, Gerätekühlung in der Kunststoffindustrie, industrielle Kleingeräte, Lösemittel, mobile Feuerlöscher, Novelties, Warmwasser-Wärmepumpen, Montageschaum, Magnesium-Schutzgas HFKW-134a, Wärmepumpenwäschetrockner. Außerdem medizinische Dosieraerosole, deren HFKW-Verbrauch zwar groß ist, deren Ersetzbarkeit allerdings besondere Probleme aufwirft.

Pkw-Klimaanlagen spielen eine Sonderrolle: Sie unterliegen der MAC-Richtlinie und damit dem gesetzlichen Umstieg auf Alternativen zu HFKW-134a. Die damit verbundene Reduktion der Nachfrage ist Bestandteil des Referenzszenarios und wird nicht mehr gesondert analysiert.

Für einige Anwendungen wurden Trends früherer Jahre extrapoliert (z.B. stationäre Klima-Anwendungen). Bei anderen Anwendungen wurde von einer konstanten Entwicklung des Sektors ausgegangen, die durch konstante Nachfrage auf dem Niveau des Mittelwerts der Nachfrage in früheren Jahren beschrieben wird. Es wurden jeweils branchenspezifische Projektionen und Fachstudien herangezogen.

Bei den Dämmstoff-Anwendungen (XPS-Schaum und PU-Schaum) wurde entsprechend den Ergebnissen eines Expertengesprächs[99] eine konstante Nachfrage auf heutigem Niveau angenommen.

Die Nachfrage nach Bulk-HFKW[100] setzt sich in den meisten Anwendungen aus den Mengen für die inländische Erstbefüllung und den Mengen für die inländische Nachfüllung von Betriebsemissionen zusammen. Erstbefüllungen im Ausland werden nicht berücksichtigt, was bei importierten vorbefüllten Produkten eine Unterschätzung der tatsächlich benötigten Mengen mit sich bringt. Diese Unterschätzung liegt u.E. im Bereich von 10% und geht hauptsächlich auf importierte Klimageräte und –anlagen zurück.

Der in der Tabelle 31 angegebene Prozentsatz bezeichnet den Unterschied der Nachfrage zwischen 2030 und 2011, bezogen auf das Jahr 2011: es handelt sich nicht um jährliche Wachstumsraten, sondern um die Differenz zwischen 2030 und 2011.

---

[98] Zu den 43 Sektoren zählen nicht der HFKW-23 (CHF_3) als Ätzgas in der Halbleiterfertigung. Im Jahr 2013 gehörte auch der Sektor ORC (Organic Rankine Cycle) noch nicht dazu.

[99] Expertengespräch Dämmstoffe, 23.10.2012, Berlin (s. 3.2.3)

[100] Bulk-Ware oder Gebinde-Ware bezeichnet hier Gase, die in Transportbehältern importiert werden und der Befüllung dienen. Im Gegensatz zu Gasen, die in Geräten oder in Behältern importiert werden, mit denen sie direkt für den letztlichen Verwendungszweck eingesetzt werden können, etwa Sprühschaumdosen.

Tabelle 31 stellt die Annahmen zur Entwicklung der inländischen HFKW-Nachfrage in den Anwendungen des Modells zusammengefasst dar.

Tabelle 31: Annahmen zum Wachstum der Nachfrage nach Bulk-HFKW für die 28 analysierten Sektoren im deutschen F-Gas-Modell, von 2011 bis 2030 (in % von 2011).

Sektor	Inl. Nachfrage nach Bulk HFKW: Wachstum 2011 bis 2030	Begründung/ Quellen
1 Haushaltskühlgeräte	0%	Umstellung auf Kohlenwasserstoffe zu 99% erfolgt. Kein Wachstum bis 2030.
2 Gewerbekälte: Supermarkt-Zentralanlagen	0%	Erstfüllung: Extrapolation des Anstiegs der Verkaufsfläche in den Jahren 2005-2011 bis 2030 (+16%). Nachfüllung: Rückgang bis 2020 wg. ChemKlimaschutzV (-19%).
3 Gewerbekälte: Discounter (Zentralanlagen)	+13%	Erstfüllung: Extrapolation der Zunahme der Anzahl von Discountern der Jahre 1995-2011 bis 2030 (+33%). Nachfüllung: : Rückgang bis 2020 wg. ChemKlimaschutzV (-9%).
4 Gewerbekälte: Verflüssigungssätze	-15%	Gesamtmarkt von kleinen Unternehmen geprägt, deren Anzahl per Saldo rückläufig.
5 Gewerbekälte: Steckerfertige Geräte	+9%	Extrapolation des Trends der Jahre 2001-2011 bis 2030 in den meisten Unteranwendungen.
6 Industriekälte-Mittel	0%	Konstante Nachfrage auf Niveau von 2011 in den meisten Unteranwendungen. 2008-2018 als Bezugsjahre ungeeignet wegen hoher Sondernachfrage nach Ersatz für R22 in best. Anlagen. Die 0% beziehen sich auf Normalverlauf ohne R22-Ersatz. Mit R22-Ersatz Reduktion 2030 gegen 2011, weil ab 2019 kein R22-Ersatz mehr angenommen wird.
7 Industriekälte-Groß		
8 Kühlfahrzeuge: Transporter	+25%	Wiederzunahme ab 2011 auf den Mittelwert der Neuzulassungen der Jahre 2000-2010
9 Kühlfahrzeuge: LKW	+40%	Zunahme ab 2011 entsprechend Mittelwert des Wachstums in den Jahren 1998-2008.
10 Kühl-Container	0%	Konstant ab 2011 entsprechend Mittelwert der Jahre 2005-2008 und 2010 (nur Nachfüllung, keine Erstbefüllung)
11 Mobil Raumklima	-	Es gibt keine inländischen Hersteller; daher keine Erstbefüllung. Hermetische mobile Geräte benötigen keine Nachfüllung
12 Einf. Splitgeräte	+166%	Extrapolation des Trends der Bestandsentwicklung von 2000-2011
13 Multisplit-VRF	+225%	Extrapolation des Trends der

Sektor	Inl. Nachfrage nach Bulk HFKW: Wachstum 2011 bis 2030	Begründung/ Quellen
		Bestandsentwicklung von 2000-2011
14 Kaltwassersätze (klein)	+15%	Extrapolation des Trends der Bestandsentwicklung der Jahre 2000-2011
15 Kaltwassersätze (groß)	+7%	Extrapolation des Trends der Bestandsentwicklung der Jahre 2000-2011
16 Turboverdichter	**+1%**	**Extrapolation des Trends der Bestandsentwicklung der Jahre 2000-2011**
17 Heiz-Wärmepumpen	+80%	Jährliches Wachstum von 2-3%
18 Kraftomnibus-Klima	+12%	Bestandsentwicklung entsprechend Politikszenarien V. Konstanz bei inl. Erstbefüllung. Zuwachs um 25 bei Nachfüllung.
19 Nfz Klimaanlagen	+13%	Inl. Erstbefüllung konstant auf 2011-Niveau. Nachfüllung für Emissionsausgleich: + 64% gegen 2011. Insgesamt Wachstum: der Nachfrage: 13%
20 See-Güterschiffsklima	0%	Konstanz auf Niveau des Mittelwerts der Jahre 2002-2011 (für Erstbefüllung und Nachfüllung)
21 Schiene Klima	**+40%**	**Konstanz bei inl. Erstbefüllung. Zunahme ausschließlich für Emissionsausgleich**
22 Feuerlösch 227ea	0%	Konstanz auf dem Niveau von 2011 fortgeschrieben
23 Feuerlösch 23	+160%	Gleicher jährlicher Neuzugang wie 2005-2011 bis 2030 angenommen (+0,2 t). Ab 2024 Entsorgung. Bis 2024 Bestandswachstum von 1,5 auf 4 t, mit entsprechender Zunahme der Nachfüllung. Verbot durch neue F-GaseV ab 2016 bei Abfassung noch nicht absehbar.
24 Aerosole	- 0% +22% 0%	Novelties: Keine inl. Abfüllung. Techn. Aerosole: Konstanz auf letztem (2010) Wert nach UStatG-Erhebung. MDIs: Inl. Abfüllung von HFKW-134a jährlich +3,7 t, wie zwischen 2005 und 2010 (UStatG). OCF: Konstant auf Niveau von 2011 (für Treibgasmischung mit GWP < 150).
25 XPS-134a	0%	Verbrauch konstant auf Niveau von 2011.
26 XPS-152a	0%	Verbrauch konstant auf Niveau von 2011.
27 PU-Spritzschaum	0%	Verbrauch konstant auf Niveau von 2011.

Sektor	Inl. Nachfrage nach Bulk HFKW: Wachstum 2011 bis 2030	Begründung/ Quellen
		Verbot durch neue F-GaseV ab 2023 bei Abfassung noch nicht absehbar.
28 PU-Sonstige	0%	Verbrauch konstant auf Niveau von 2011. Verbot durch neue F-GaseV ab 2023 bei Abfassung noch nicht absehbar.
Außerdem: Pkw Klima	-80%	Entsprechend Annahmen der Politikszenarien V; ab 2011 geht der Anteil von R 134a an inl. Neubefüllung von 100% auf 25% in 2017 zurück. Dann erfolgt nur noch die Erstbefüllung für Export aus der EU. Nachfüllmenge im Inland verringert sich von 2011 bis 2030 auf 15%. Verzögerung des R-134-Ersatzes um 2 Jahre bei Abfassung noch nicht absehbar. Auswirkung bis 2030 nicht erheblich.

Nach der Erarbeitung der Projektionen wurden für die generischen Szenarien, das REF-Szenario und das MIN-Szenario, und die Maßnahmenszenarien detaillierte technisch-ökonomische Analysen der HFKW-Anwendungssektoren durchgeführt.

Diese Analysen erfolgten separat für jeden der in der obigen Tabelle 31 genannten 28 Sektoren, und zwar mittels Vergleich der sektor-typischen HFKW-Standardtechnologie (Referenztechnologie, die der F-Gase-Verordnung unterliegt – RefTech) mit einer oder mehreren halogenfreien Alternativtechnologien. Die Anzahl und Struktur der kälte- und klimatechnischen Sektoren stimmt mit dem für das ZSE des UBA entwickelten deutschen F-Gas-Modells für HFKW-Anwendungen[101] überein.

Die sektoralen Analysen und Berechnungen wurden für jeden Sektor in einem separaten Excel-Tabellenblatt durchgeführt. Innerhalb des Tabellenblattes sind in vier Hauptabschnitten die Annahmen und Berechnungen für jeden Sektor zusammengestellt:

- **Technologien:** Technische Daten und Daten zu Kosten, Marktdurchdringung (Penetrationsraten) und Vermeidungskosten der sektortypischen HFKW-Referenzanlage (RefTech) und ihrer HFKW-freien Alternativen (abgekürzt AT).
- **Standardwerte** für Preise, insbesondere der Kältemittel.
- **Projektionen des Referenzszenarios bis 2030:** Emissions- und Verbrauchs-Projektionen 2015-2030 des Referenzszenarios – importiert aus dem Öko-Recherche-F-Gas-Inventar, das jetzt um die Projektionen bis 2030 ergänzt wurde.
- **Reduktionsberechnungen für das Minimalszenario:** Berechnungen der Reduktion von Emissionen und Verbrauch in Abhängigkeit von der Marktdurchdringung (Penetrationsrate) der einzelnen alternativen Technologien (AT).

[101] Schwarz, W.; Gschrey, B.; Kimmel, T.; Leisewitz, A.; Sauer, J.: Modelle für die Inventarerhebung von F-Gasen – Modelle zur Ermittlung der Inventardaten für die Emissionsberichterstattung fluorierter Treibhausgase (HFKW, FKW, SF_6) in ausgewählten Quellgruppen. Schlussbericht, Februar 2013.

Die Tabellenblätter mit allen Annahmen sind diesem Bericht ebenfalls im Anhang beigefügt (s.7.1.2).

Für jede Anwendung werden die Annahmen zu Referenz- und Alternativtechnologien, Kostendaten und errechnete Vermeidungskosten in einem Tabellenblatt zusammenfasst. Annahmen und berechnete Werte für die Referenztechnologie sind in der Spalte "RefTech" enthalten, Annahmen und Rechenwerte für die Alternativtechnologien in den Spalten rechts davon, die mit "AT" überschrieben sind. Ein Teil der Annahmen wurden für die Hauptanwendungen dieses Vorhabens mit externen Experten[102] diskutiert.

Analog zur Methode, die für die europäischen Analysen entwickelt worden war, wurden sektor- und anwendungsspezifische Annahmen zur Marktdurchdringung von Alternativen zu HFKW getroffen.

Die Marktdurchdringungsrate[103] ist dabei definiert als das maximale Marktpotenzial einer technischen Alternative zum Ersatz von neuen HFKW-Produkten oder HFKW-Neuanlagen in einem spezifischen Sektor. Die Marktdurchdringungsrate kann für jede technische Alternative bestimmt werden und basiert grundsätzlich, aber nicht ausschließlich, auf der technischen Machbarkeit des Ersatzes von konventioneller HFKW-Technologie. Weitere Aspekte können die benötigte Zeit für den Aufbau von Produktionskapazitäten, Vertriebswegen oder Fachkenntnissen sein.

Eine Marktdurchdringungsrate von 30% im Jahr 2015 bedeutet, dass 30% der HFKW-Neuanlagen, die im Jahr 2015 installiert werden, potentiell durch Anlagen mit der entsprechenden Alternativtechnologie substituiert werden könnten.

Allerdings ist nicht jede Alternativtechnologie in jedem Sektor für alle Einsatzbereiche geeignet. Daher wird die maximale Marktdurchdringungsrate für Alternativen zu HFKW-Technologien in einem Sektor in einem bestimmten Jahr durch die Kombination von mehreren technischen Alternativen erreicht.

Die Einsatzmöglichkeiten einer technischen Alternative werden durch Sicherheitsaspekte, Kosten und/oder Aspekte der Energieeffizienz und andere Parameter begrenzt. Daher ist es notwendig, die Einsatzbereiche jeder relevanten technischen Alternative für einen spezifischen Sektor im Kontext der Einschränkungen zu betrachten.

Folgende Einschränkungen können unterschieden werden:

- Einschränkungen durch Sicherheitsaspekte
- Einschränkungen durch Anforderungen an die Energieeffizienz
- Einschränkungen durch Kosten
- Einschränkungen durch mangelnde Verfügbarkeit von Materialien und Komponenten
- Einschränkungen durch mangelnde Verfügbarkeit von Kältemitteln und Treibmitteln
- Einschränkungen aufgrund von Komplexität der Systeme und mangelndem Know How

Im Folgenden wird auf jeden dieser Aspekte eingegangen:

[102] Expertengespräch zu stationärer Kälte und Klimatisierung, 18.12.12, Bonn (s. 3.2.3).

[103] Folgende Ausführungen wurden im Rahmen des Expertengesprächs Kältetechnik erarbeitet und mit Experten diskutiert (Anlage 5 zum Protokoll vom 15.01.2013).

Einschränkungen durch Sicherheitsaspekte: Die Verwendung von Kältemitteln wird allgemein durch Sicherheitsvorschriften kontrolliert, z.B. Vorschriften für die Verwendung von Gefahrstoffen in Gebäuden etc. Zumeist sind solche Regelungen unspezifisch hinsichtlich verschiedener Kältemittel und haben die sichere Verwendung aller Substanzen zum Ziel. Es existieren darüber hinaus Normen und Verhaltensrichtlinien, die klare Regelungen zur Verwendung der Kältemittel beinhalten; diese Regeln sind aber normalerweise nicht rechtlich bindend, sondern entsprechen der „besten Praxis".

In der in Normen geregelten Sicherheitsklassifizierung sind viele der derzeit gängigen F-Gas-Kältemittel der Klasse mit geringer Toxizität und geringer Entflammbarkeit (Klasse A1) zugeordnet. Das führt dazu, dass sie in den meisten Anwendungsbereichen ohne quantitative Beschränkungen eingesetzt werden können. Viele Alternativtechnologien basieren jedoch auf Kältemitteln mit höherer Toxizität (B) und/oder Entflammbarkeit (in der Sicherheitsklassifizierung meist „A2", „A3", „B2"), so dass sie nicht in unbegrenzten Mengen innerhalb unterschiedlicher Örtlichkeiten eingesetzt werden dürfen. Die Marktdurchdringungsrate einer Alternative kann dadurch beschränkt werden.

Zum Beispiel ist es gemäß gültiger Normen nicht erlaubt, R717 (Sicherheitsklasse B2) in direkten Systemen einzusetzen, wodurch die Marktdurchdringungsrate einer R717-Alternative bei Raumklimageräten bei 0% liegen würde. Hingegen könnte R290 (Sicherheitsklasse A3) in direkten Systemen eingeführt werden, sofern die Füllmenge einen bestimmten Grenzwert nicht überschreitet (gemäß DIN EN 378, EN/IEC 60335-2-24, -89,-40). Die Marktdurchdringungsrate einer R290-Alternative würde daher größer als 0% sein, aber geringer als 100%, da es nicht möglich ist, R290 in Systemen mit höheren Füllmengen als dem Grenzwert zu verwenden. Gegebenenfalls kann diese Lücke wiederum durch indirekte Systeme oder durch zwei Kältekreisläufe anstelle von einem geschlossen werden.

Einschränkungen durch Anforderungen an die Energieeffizienz: In dieser Studie werden prinzipiell keine Alternativen bearbeitet, bei denen Reduzierungen von direkten Emissionen mit einem höheren Energieverbrauch einhergehen. Diese Herangehensweise entspricht auch der Tatsache, dass in vielen Ländern mittlerweile Standards für minimale Energieeffizienz von Produkten eingeführt wurden, z.B. in den in einer EU-Verordnung festgelegten Anforderungen für Raumklimageräte unter der Ökodesign-Richtlinie (Verordnung (EU) Nr. 206/2012). Daher können nur Alternativtechnologien berücksichtigt werden, die mindestens die gleiche Energieeffizienz wie HFKW-Systeme aufweisen. Die meisten technischen Alternativen, die betrachtet werden, können allerdings eine höhere Energieeffizienz als gängige HFKW-Systeme erzielen. In den Fällen, in denen Alternativen eine geringere Effizienz als vergleichbare HFKW-Systeme erreichen, sind eventuell zusätzliche Materialien und Komponenten erforderlich, um die Effizienz der Alternativen zu verbessern. Dies führt zu weiteren Kosten. Wenn etwa indirekte Systeme anstelle von direkten Systemen eingesetzt werden und die Bauweise zu Effizienzverlusten führt, dann können etwa vergrößerte Oberflächen des Wärmetauschers nötig sein, um die Zielsetzung zu erreichen.

Allerdings kann es vorkommen, dass in manchen Fällen auch bei Optimierung der Anlage nicht die gleiche Effizienz wie bei HFKW-Systemen erreicht werden kann. In diesen Fällen ist die Marktdurchdringungsrate begrenzt. Zum Beispiel würden

transkritische CO_2-Anlagen, die bei hoher Außentemperatur heute noch weniger energieeffizient als die meisten HFKW-Systeme sind, in Südeuropa heute mehr Energie verbrauchen, was die Marktdurchdringung auf EU-Ebene reduziert. Da Deutschland generell ein gemäßigtes Klima aufweist, ist dieser Aspekt in dieser Studie nicht relevant, so dass die Marktdurchdringungsrate höher als im EU-Durchschnitt werden kann. Ein weiteres Beispiel ist der energetische Nachteil von Turboverdichter-Anlagen mit R290 im höheren Temperaturbereich. Die Marktdurchdringung ist hier auf Prozesskühlung beschränkt, was die Rate auf maximal 30% vermindert.

Einschränkungen durch Kosten: Grundsätzlich können ungeachtet der Kosten alle technischen Alternativen für jede Anwendung verwendet werden. Produkte, die zu deutlich teureren als den üblichen Preisen angeboten werden, werden am Markt jedoch nicht akzeptiert. Die Verwendung verschiedener Alternativtechnologien, die durch mehrere Parameter beeinflusst wird, hat Auswirkungen auf die Kosten. Es kann zu Situationen kommen, in denen die Einführung einer technisch möglichen Alternative in exorbitanten Kosten resultiert, so dass dadurch das Potential der Marktdurchdringung begrenzt wird.

Einschränkungen durch mangelnde Verfügbarkeit von Materialien und Komponenten: Manche Komponenten, wie etwa Kompressoren, werden für einzelne Kältemittel spezifisch angefertigt. Obwohl es technisch möglich ist, CO_2 in kleinen Verflüssigungssätzen einzusetzen, sind derzeit keine geeigneten Kompressoren verfügbar. Dies triff z.B. auch auf den kleinen Sektor der "Rooftop"-Klimageräte zu: Kompressoren mit Kolbenverdichter, die normalerweise in Gewerbekälte-Anlagen verbaut werden, könnten eingesetzt werden, jedoch wäre mit einer deutlich geringeren Effizienz zu rechnen als bei Kompressoren mit Scroll-Verdichtern, die etwa in R22-Systemen verwendet werden. Als weiteres Beispiel können elektrische Bauteile für Systeme mit brennbaren Kältemittel genannt werden. Für Flüssigkeitskühlsätze mit Kohlenwasserstoffen als Kältemittel müssen speziell gesicherte elektrische Schaltteile verbaut werden, um die Entflammung bei einer Leckage des Kältemittels zu verhindern. Manche Teile sind jedoch bisher nicht verfügbar, außer etwa für Bohrinsel-Anwendungen, die aber bei Einsatz in Kälte- und Klimaanlagen zu enorm hohen Kosten führen würden. Derzeit können noch nicht alle Systeme mit jeder Alternativtechnologie mit fabrikgefertigten Teilen gebaut werden, was hohe zusätzliche Kosten und eine geringere Energieeffizienz bedingen kann.

Einschränkungen durch mangelnde Verfügbarkeit von Kältemitteln und Treibmitteln: Während Kohlenwasserstoffe, CO_2, Ammoniak und Wasser in ausreichenden Mengen verfügbar sind, konnten die neu entwickelten ungesättigten HFKW derzeit noch nicht im großen Maßstab auf den Markt gebracht werden. Da diese Substanzen aber ein großes Potenzial zur Substitution der gängigen HFKW aufweisen, sind sie in den Vergleichen in dieser Studie an relevanten Stellen integriert. Dies trifft vor allem auf das als Kältemittel angebotenen HFKW-1234yf zu sowie, in geringerem Umfang, auf HFKW-1234ze, das als Kältemittel, aber auch als Treibmittel für Dämmstoffe oder Aerosole verwendet werden kann. Die Marktdurchdringungsrate von HFKW-1234yf wird für das Jahr 2015 noch als gering angenommen, wird sich aber wohl im Laufe der Zeit erhöhen. Selbstverständlich wird sie auch durch die Entwicklung bei den Autoklimaanlagen beeinflusst.

Einschränkungen aufgrund von Komplexität der Systeme und mangelndem Know How: Kälteanlagen mit ozonschichtschädigenden Kältemitteln wie R22, mit HFKW oder mit HFKW-Blends sind ähnlich komplex und weisen ein ähnliches Anlagendesign auf. Im Unterschied dazu erfordern Planung und Konstruktion von Kälte- und Klimaanlagen mit brennbaren Kältemitteln oder transkritische CO_2-Anlagen zusätzliches Wissen und Können. Daher müssen Anlagenplaner und Anlagenbauer zusätzliches Know How für die fachmännische Installation und Wartung von Alternativtechnologien entwickeln.

Zur Quantifizierung von Marktdurchdringungsraten wurden mehrere Faktoren berücksichtigt. Für jede der oben beschriebenen Einschränkungen (i) wurde der Anteil (χ) in einem Sektor geschätzt, in dem eine spezifische Alternativtechnologie nicht angewendet werden kann. Dies geschah in Bezug auf die Kältemittelmenge in CO_2 Äquivalenten ausgedrückt, nicht in Bezug auf die Anzahl der Systeme.

Diese Faktoren wurden für das Jahr 2030 durch Expertenschätzungen ermittelt und beinhalten sowohl Aussagen über die technischen Entwicklungen als auch die Marktreife. Zum Beispiel kann angenommen werden, dass Forschungs- und Entwicklungsfortschritte in den nächsten 20 Jahren in Bereichen, in denen Begrenzungen der Füllmenge heute eine Einschränkung darstellen, die spezifischen Füllmengen (kg/kW) verringern werden. Weiterhin ist etwa denkbar, dass Komponenten für bestimmte Alternativtechnologien allgemein verfügbar werden und so die Kosten für die Produktentwicklung und die verhältnismäßig teure Produktion kleiner Stückzahlen nicht mehr im Verkaufspreis enthalten sind.

Damit wird die maximale Marktdurchdringungsrate beschrieben als $1 - \max\{ i \chi \}$.

Die maximale Marktdurchdringungsrate wurde wie beschrieben für das Jahr 2030 abgeschätzt. Für die Zwischenjahre 2015, 2020 und 2025 wurden Marktdurchdringungsraten durch Interpolation ermittelt und liegen damit zwischen den Raten für 2010 und 2030, aber orientieren sich auch an der angenommenen Lebenszeit der Anlagen in den jeweiligen Sektoren.

Die folgenden Tabellen stellen die Annahmen des MIN-Szenarios zur Marktdurchdringung von Alternativtechnologien im Jahr 2030 zusammengefasst dar. Aus den in den Expertengesprächen getroffenen Annahmen für jede Alternative wurde mit Hilfe des Kriteriums der Vermeidungskosten eine kombinierte Marktdurchdringungsrate gebildet (in der Studie für die EU-Kommission[104] als „penetration mix“ bezeichnet). Dabei ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass 100% Marktdurchdringung der Alternativtechnologien nicht schon vor 2030, also im Zeitraum zwischen 2014 und 2030 erreicht wird. Dies ist in den nachfolgenden Tabellen nicht dargestellt.

Tabelle 32 zeigt die Annahmen für Kälteanwendungen untergliedert in die Anwendungen Gewerbekälte, Industriekälte und Transportkälte mit jeweils mehreren Unteranwendungen. Die Haushaltskälte wird nicht betrachtet, da bereits heute in Deutschland in dieser Anwendung kaum mehr HFKW-Kältemittel eingesetzt werden.

[104] 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.: Preparatory study for a review of Regulation (EC) No. 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases. Final Report, for the EU Commission, September 2011. http://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/docs/2011_study_en.pdf

In der Gewerbekälte, die in diesem Vorhaben eine Hauptanwendung (HA) darstellt, und in der Transportkälte sind 2030 in allen Unteranwendungen 100% Marktdurchdringung der genannten Alternativtechnologien erreicht. Für Kühl-Lkw wurde eine Marktdurchdringung von 80% R290 und 20% R744 in Anlehnung an Schwarz et al. 2011 angenommen, obwohl sich derzeit in Deutschland eher ein Trend in Richtung R744 abzeichnet.

In der Industriekälte nehmen wir nur 90% Marktdurchdringung der Alternative Ammoniak (R717) an.

Tabelle 32: Annahmen zu Alternativtechnologien und deren Marktdurchdringung 2030 im Minimalszenario (MIN) in Anwendungen der Kältetechnik.

Anwendung	Alternativtechnologien	Marktdurchdringung 2030
Gewerbekälte		
2 Supermarkt-Zentralanlagen	KW + Sole + CO_2 Kaskade	0%
	KW + CO_2 Kaskade	20%
	R744 transkritisch	80%
	R1234yf + CO_2 Kälteträger + CO_2 Kaskade	0%
3 Discounter (Zentralanlagen)	KW + Sole	0%
	KW + CO_2 Kälteträger	20%
	R744 transkritisch	80%
	R1234yf + CO_2 Kälteträger	0%
4 Verflüssigungssätze	R744 transkritisch	40%
	R290 DX	40%
	KW+Sole	20%
	R1234yf+Sole	0%
5 Steckerfertige Geräte	R600a / R290 direkt	85%
	R744	15%
Industriekälte		
6 Industriekälte-Mittel	R717	90%
7 Industriekälte-Groß	R717	90%
Transportkälte		
8 Kühlfz Transporter	R744	50%
	R1234yf	50%
9 Kühlfz LKW	R290	80%

Anwendung	Alternativtechnologien	Marktdurchdringung 2030
	R744	20%
10 Kühl-Container	R744	100%

Für die Hauptanwendung der Gewerbekälte sind die in den Expertengesprächen abgestimmten Alternativtechnologien und Marktdurchdringungsraten aufgeführt.

Tabelle 33 stellt die Annahmen des MIN-Szenarios zur Marktdurchdringung von Alternativtechnologien im Jahr 2030 in Klimaanwendungen dar. In diesem Vorhaben gelten die Anwendungen Raumklimageräte und Flüssigkeitskühlsätze als Hauptanwendungen, in denen diese Annahmen in Fachgesprächen mit externen Experten diskutiert und validiert wurden[105].

Tabelle 33: Annahmen zu Alternativtechnologien und deren Marktdurchdringung 2030 im Minimalszenario (MIN) in Anwendungen der mobilen und stationären Klimatisierung.

Anwendung	Alternativtechnologien	Marktdurchdringung 2030
Raumklimatisierung		
11 Mobil Raumklima	R290	60%
	R744 transkritisch	20%
	R1234yf	20%
	R32	0%
12 Einfache Splitgeräte	R290	40%
	R744 transkritisch	30%
	R1234yf	30%
	R32	0%
13 Multisplit und VRF	R290 indirekt (Sole)	60%
	R44 transkritisch	20%
	R1234yf direkt	20%
	R290 + verdampf. Zweitkreislauf	0%
Flüssigkeitskühlsätze		
14 Flüssigkeitskühlsätze (klein)	R290	40%
	R723	50%
	R744 transkritisch	10%
	R1234yf	0%
15 Flüssigkeitskühlsät-	R290	35%

[105] Expertengespräch zur Raumklimatisierung am 10.10.12 in Nürnberg und Expertengespräch zur stationären Klimatisierung- Flüssigkeitskühlsätze am 18.12.12 in Bonn (s. 3.2.3).

Anwendung	Alternativtechnologien	Marktdurchdringung 2030
ze (groß)		
	R717	60%
	R744 transkritisch	5%
	R1234yf	0%
16 Turboverdichter	R 290 nur Prozessklimatisierung	20%
	R 718	20%
	R 1234ze	60%
17 Wärmepumpen Heiz	R290	70%
	R744	0%
	R600a	0%
	R1234yf	0%
	R32	0%
Mobile Klimatisierung: Straßenfahrzeuge		
18 Kraftomnibus	R744	100%
	R1234yf	0%
19 Nutzfz. Klimaanlagen	R744	0%
	R1234yf	100%
20 See-Güterschiffsklima	R717/Sole	90%
	XP10 (DR-11: Blend aus R1234yf und HFKW)	0%
21 Schiene Klima	R744	0%

Für die Hauptanwendung der stationären Klimatisierung sind die in den Expertengesprächen abgestimmten Alternativtechnologien und Marktdurchdringungsraten aufgeführt.

In fast allen Klima-Anwendungen wird entsprechend der Annahmen im Jahr 2030 eine Marktdurchdringungsrate der Alternativtechnologien von 100% erreicht. Zu den Annahmen gehört auch der Umstand, dass die Emissionsvermeidungskosten niedriger als 50 €/tCO_2-Äq. sein müssen. In einigen Anwendungen bestehen die Alternativtechnologien ausschließlich aus halogenfreien Kältemitteln, in anderen Anwendungen aus einem Mix aus halogenfreien Kältemitteln und solchen aus ungesättigten HFKW (HFOs), in einer Anwendung (Klimatisierung von Nutzfahrzeugen) kommen nur ungesättigte HFKW in Frage. Anwendungen, in denen ungesättigte HFKW zusätzlich zu halogenfreien Kältemitteln eine Rolle spielen, sind mobile Raumklimageräte (20%), Splitgeräte (30%), Multisplit- und VRF-Geräte (20%) und Turboverdichter (60%). Bei Heiz-Wärmepumpen erreichen die Alternativen (R290) nur 70%, da die Emissionsvermeidungskosten der anderen Technologien über der Kosten-

schwelle von 50 €/tCO_2-Äq. liegen. Bei See-Güterschiffen liegen die Kosten aller in Betracht kommenden Alternativtechnologien höher.

Tabelle 34 fasst die Annahmen des MIN-Szenarios zur Marktdurchdringung von Alternativtechnologien im Jahr 2030 in den Anwendungen Feuerlöschmittel, Aerosole und Dämmstoffe zusammen. HFKW werden in diesen Anwendungen nur noch in sehr geringem Maße eingesetzt werden müssen.

Tabelle 34: Annahmen zu Alternativtechnologien und deren Marktdurchdringung 2030 im Minimalszenario (MIN) für Anwendungen der Sektoren Feuerlöschmittel, Aerosole und Dämmstoffe (Schäume).

Anwendung	Alternativtechnologien	Marktdurchdringung 2030 (%)	HA
Feuerlöschmittel und Aerosole			
22 Feuerlösch 227ea	FK-5-1-12	90%	
23 Feuerlösch 23	FK-5-1-12	100%	
24 Aerosole	HFKW-1234ze	95%	
Schaumproduktion			X
25 XPS-134a	Ethanol/CO_2 HFKW-1234ze	0% 100%	
26 XPS-152a	KW HFKW-1234ze	0% 100%	
27 PU-Spritzschaum	KW HFKW-1234ze	0% 100%	
28 PU-Sonstige	KW (Pentan) HFKW-1234ze	0% 100%	

Für heutige Feuerlösch-Anwendungen mit HFKW-227ea wird angenommen, dass die Alternativtechnologie, das Feuerlöschmittel FK-5-1-12, im Jahr 2030 eine Marktdurchdringung von 90% erreichen kann. HFKW-23 kann als Feuerlöschmittel durch dieselbe Alternative zu 100% ersetzt werden.

Die ausgewählte Alternativtechnologie auf Basis von ungesättigten HFKW (HFKW-1234ze) erreicht bei Aerosol-Anwendungen, die heute HFKW nutzen, eine Marktdurchdringungsrate von 95% im Jahr 2030. Bei den restlichen 5% handelt es sich um unverzichtbare Nischenanwendungen.

Dämmstoffe gelten in diesem Vorhaben als Hauptanwendung, für welche die Annahmen mit externen Experten intensiv diskutiert und validiert wurden. Es handelt sich bei den noch mit HFKW-geschäumten Produkten keineswegs um große Anteile des Marktes in Deutschland, sondern um Spezialprodukte und relativ teure Nischenanwendungen. Für XPS-Schaum wurde von den Experten[106] dargelegt, dass in vielen Fällen, in denen heute HFKW-134a als Treibmittel angewendet wird, nur HFKW-1234ze als Alternative in Frage kommt. Nach Meinung der Experten bestehen spezifische Märkte für die preiswerteren CO_2-geschäumten und die teureren HFKW-134a-geschäumten Produkte. Haupthindernis einer höheren Marktdurchdringung von

[106] Expertengespräch im Rahmen dieses Vorhabens am 23.10.2012 in Berlin (s.3.2.3).

Alkohol/CO_2 ist die höhere Wärmeleitfähigkeit und die daraus resultierende größere Dicke der Platten, was z.B. in der Transportkälte wegen der erforderlichen Raum-Effizienz relevant ist. Daneben spielt die geringere Druckstabilität von CO_2 eine Rolle, etwa bei der Befahrbarkeit von Kühlräumen. Auch für heute mit HFKW-152a geschäumte Produkte kommen nach Ansicht der Experten nur ungesättigte HFKW als Alternativen in Frage. Für PU-Spritzschaum ist die Anwendbarkeit von Wasser als Treibmittel-Alternative nicht gegeben, da die technischen Eigenschaften von wassergetriebenem geschlossenzelligem Schaum vergleichsweise schlecht sind, insbesondere die hohe Wärmeleitfähigkeit, diese Produkte aber in Innenräumen zur Wärme- und Schalldämmung eingesetzt werden. Somit werden auch für PU-Spritzschaum ausschließlich ungesättigte HFKW als Alternative angenommen.

7.1.2 Tabellenblätter zum Modell

Die folgenden Seiten enthalten Tabellen der Berechnungen der Vermeidungskosten und Reduktionen von Referenzszenario und alternativen Technologien nach einzelnen Sektoren.

Technologien und Vermeidungskosten	1a	Supermarkt Zentralanlagen					
		BAU DX R-404A (80%) R-134a (20%)	RefTech DX R-404A (80%) R-134a (20%)	AT KW + Sole + CO_2 Kaskade	AT KW + CO_2 + CO_2 Kaskade	AT R-744 transkritisch	AT R-1234yf + CO_2 + CO_2 Kaskade
install. Kälteleistung	*kW*	*100*	*100*	*100*	*100*	*100*	*100*
install. Elektroleistung	kW	40	40	38,8	37	37	39,2
Laufzeit pro Jahr	h/y	4.380	4.380	4.380	4.380	4.380	4.380
Investitionsk. Anlage	€	320.000	320.000	369.600	384.000	384.000	364.800
Kältemittel-Füllmenge	kg	230	230	23	60	153	77
Kosten Erstbefüllung	€	3.726	3.726	345	900	613	4.600
GWP des Kältemittels		3.424	3.424	3	3	1	4
Lebensdauer	*Jahre*	14	14	14	14	14	14
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	608	0	0		0
Zusätzliche Wartung	€/a						
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Befüll-Emissionen	kg /a	0,164	0,164	0,016	0,043	0,110	0,055
Leckrate	[1]	0,1150	0,0805	0,115	0,115	0,115	0,115
Betriebsemissionen	kg /a	26,45	18,52	2,645	6,9	17,63333333	8,82
techn tolerabler Verlust	[1]	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875
Rückgewinnungsrate	[1]	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6
Ents. Emissionsrate	[1]	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4
Ents. Emissionen	kg/a	5,75	2,88	0,58	1,50	3,83	1,92
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	110,80	73,79	0,01	0,03	0,02	0,04
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	37,01	0,00	73,78	73,77	73,77	73,75
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	2,17	3,11	2,17	2,17	2,17	2,17
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	1,087	1,553	1,087	1,087	1,087	1,087
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	24,396	16,461	2,440	6,364	16,264	8,132
Verbrauch	kg /a	40,99	33,05	4,10	10,69	27,33	13,66
Verbrauch	tCO2 eq / a	140,3	113,2	0,012	0,03	0,03	0,05
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	27,17	0,000	113,15	113,13	113,14	113,11
Energieverbrauch	kWh	175.200	175.200	169.944	162.060	162.060	171.696
Kosten der el kWh	€	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*
Energiekosten	€/a	36.792	36.792	35.688	34.033	34.033	36.056
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	790,44	533,35	73,19	190,93	130,11	975,86
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,0947	0,0947	0,0947	0,0947	0,0947	0,0947
Jährliche Betriebskosten	€ /a	37.582,44	37.933,03	35.761,43	34.223,53	34.162,71	37.032,02
Jährliche Investitionskosten	€ /a	30.647	30.647	35.022	36.438	36.411	34.971
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	68.229	68.580	70.784	70.662	70.574	72.003
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-350,58	0	2.204	2.082	1.994	3.423
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**29,9**	**28,2**	**27,0**	**46,4**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**19,5**	**18,4**	**17,6**	**30,3**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			20	20	20	1
AT Verfügbarkeit 2020	%			40	40	40	30
AT Verfügbarkeit 2030	%			80	80	80	80
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			20	20	20	1
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			20	40	40	
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%				20	80	
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			20	20	20	1
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			20	40	40	0
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			0	20	80	0
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**27,27**			
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**17,78**			
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		1.275				
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		13				
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		1.436				
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		198				
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			1.537			
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			2.522			
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		1.647				
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		2.565				
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			214	487	833	3
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			155	646	1.720	1
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			214	487	833	3
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			155	646	1.720	1

Technologien und Vermeidungskosten	1b	Gewerbekälte Discounter-Zentralanlagen (NK)					
		BAU DX R-404A (50%) R-134a (50%)	RefTech DX R-404A (50%) R-134a (50%)	AT KW + Sole	AT KW + CO_2 Kälteträger	AT R-744 transkritisch	AT R-1234yf + CO2 Kälteträger
install. Kälteleistung	*kW*	*40*	*40*	*40*	*40*	*40*	*40*
install. Elektroleistung	kW	16	16	15,84	14,8	14,8	15,52
Laufzeit pro Jahr	h/y	4.380	4.380	4.380	4.380	4.380	4.380
Investitionsk. Anlage	€	82.500	82.500	95.288	99.000	99.000	94.875
Kältemittel-Füllmenge	kg	95	95	40	40	60	40
Kosten Erstbefüllung	€	1.496	1.496	600	600	240	2.400
GWP des Kältemittels		2.676	2.676	3	3	1	4
Lebensdauer	*Jahre*	10	10	10	10	10	10
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	511	0	0		0
Zusätzliche Wartung	€/a						
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Befüll-Emissionen	kg /a	0,095	0,095	0,040	0,040	0,060	0,040
Leckrate	[1]	0,1150	0,0805	0,115	0,115	0,115	0,115
Betriebsemissionen	kg /a	10,93	7,65	4,6	4,6	6,9	4,60
techn tolerabler Verlust	[1]	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875
Rückgewinnungsrate	[1]	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6
Ents. Emissionsrate	[1]	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4
Ents. Emissionen	kg/a	3,33	1,66	1,40	1,40	2,10	1,40
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	38,39	25,17	0,02	0,02	0,01	0,02
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	13,22	0,00	25,15	25,15	25,16	25,14
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	2,17	3,11	2,17	2,17	2,17	2,17
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	1,087	1,553	1,087	1,087	1,087	1,087
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	9,738	6,460	4,100	4,100	6,150	4,100
Verbrauch	kg /a	19,33	16,06	8,14	8,14	12,21	8,14
Verbrauch	tCO2 eq / a	51,7	43,0	0,024	0,02	0,01	0,03
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	8,77	0,000	42,94	42,94	42,95	42,93
Energieverbrauch	kWh	70.080	70.080	69.379	64.824	64.824	67.978
Kosten der el kWh	*€*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*
Energiekosten	€/a	14.717	14.717	14.570	13.613	13.613	14.275
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	306,73	203,49	123,00	123,00	49,20	492,00
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233
Jährliche Betriebskosten	€ /a	15.023,53125	15.430,82	14.692,63	13.736,04	13.662,24	14.767,30
Jährliche Investitionskosten	€ /a	10.356	10.356	11.822	12.280	12.235	11.993
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	25.380	25.787	26.515	26.016	25.898	26.760
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-407,29	0	728	229	111	974
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**28,9**	**9,1**	**4,4**	**38,7**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**17,0**	**5,3**	**2,6**	**22,7**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			20	20	20	1
AT Verfügbarkeit 2020	%			40	40	40	30
AT Verfügbarkeit 2030	%			80	80	80	80
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			20	20	20	1
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			20	40	40	
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%				20	80	
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			20	20	20	1
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			20	40	40	0
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			0	20	80	0
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq					**5,35**	
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq					**3,13**	
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		455				
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		5				
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		366				
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		68				
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq					439	
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq					769	
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		439				
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		769				
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			46	134	258	0
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			28	182	560	0
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			46	134	258	0
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			28	182	560	0

Technologien und Vermeidungskosten	2	Gewerbekälte-Verflüssigungssätze					
		BAU DX 404A (50%) 134a (50%)	RefTech DX 404A (50%) 134a (50%)	AT R-744 transkritisch	AT R-290 DX	AT KW+Sole	AT 1234yf+Sole
install. Kälteleistung	*kW*	*4*	*4*	*4*	*4*	*4*	*4*
install. Elektroleistung	kW	2,5	2,5	2,3725	2,425	2,475	2,5
Laufzeit pro Jahr	h/y	5.840	5.840	5.840	5.840	5.840	5.840
Investitionsk. Anlage	€	3.800	*3.800*	6.270	5.510	5.130	4.940
Kältemittel-Füllmenge	kg	4	4	2,7	2,0	0,8	1
Kosten Erstbefüllung	€	63	63	11	30	12	60
GWP des Kältemittels		2.676	2.676	3	1	3	4
Lebensdauer	*Jahre*	12	12	12	12	12	12
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	71	0	0	0	0
Zusätzliche Wartung	€/a						
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Befüll-Emissionen	kg /a	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001
Leckrate	[1]	0,07	0,049	0,07	0,07	0,07	0,07
Betriebsemissionen	kg /a	0,28	0,196	0,187	0,14	0,056	0,07
techn tolerabler Verlust	[1]	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875
Rückgewinnungsrate	[1]	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6
Ents. Emissionsrate	[1]	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4
Ents. Emissionen	kg/a	0,12	0,058	0,08	0,06	0,02	0,03
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	1,07	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,38	0,00	0,69	0,69	0,69	0,69
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	3,57	5,10	3,57	3,57	3,57	3,57
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	1,79	2,55	1,79	1,79	1,79	1,79
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	0,238	0,154	0,159	0,119	0,048	0,060
Verbrauch	kg /a	0,58	0,49	0,38	0,29	0,12	0,14
Verbrauch	tCO2 eq / a	1,5	1,3	0,001	0,00	0,00	0,00
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,22	0,000	1,31	1,31	1,31	1,31
Energieverbrauch	kWh	14.600	14.600	13.855	14.162	14.454	14.600
Kosten der el kWh	*€*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*
Energiekosten	€/a	3.066	3.066	2.910	2.974	3.035	3.066
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	7,51	4,86	4,77	0,95	1,43	7,15
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,1066	0,1066	0,1066	0,1066	0,1066	0,1066
Jährliche Betriebskosten	€ /a	3.073,51	3.142,26	2.914,40	2.974,97	3.036,77	3.073,15
Jährliche Investitionskosten	€ /a	412	412	669	590	548	533
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	3.485	3.554	3.584	3.565	3.585	3.606
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-68,75	0	30	11	31	52
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**43,2**	**16,5**	**44,7**	**75,5**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**22,7**	**8,7**	**23,4**	**39,6**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			10	20	5	1
AT Verfügbarkeit 2020	%			20	30	30	20
AT Verfügbarkeit 2030	%			40	40	60	60
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			10	20	5	1
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			20	30	30	20
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			40	40	20	0
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			10	20	5	0
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			20	30	30	0
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			40	40	20	0
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**32,82**			
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**17,22**			
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		330				
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		3				
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		194				
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		59				
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			239			
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			492			
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		257				
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		493				
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			67	84	61	28
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			180	188	107	17
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			67	84	61	0
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			180	188	107	0

Technologien und Vermeidungskosten	3	Steckerferige Gewerbekühlgeräte			
		BAU R134a direkt	RefTech R-134a direkt	AT R-600a / 290 direkt	AT R-744
install. Kälteleistung	*kW*	*0,6*	*0,6*	*0,6*	*0,6*
install. Elektroleistung	kW	0,3	0,3	0,291	0,285
Laufzeit pro Jahr	h/y	6.000	6.000	6.000	6.000
Investitionsk. Anlage	€	1.000	1.000	1.110	1.180
Kältemittel-Füllmenge	kg	0,4	0,4	0,2	0,4
Kosten Erstbefüllung	€	6,15	6,15	3,00	1,60
GWP des Kältemittels		1.922	1.922	3	1
Lebensdauer	*Jahre*	10	10	10	10
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	2,50	0	0
Zusätzliche Wartung	€/a				
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,005	0,005	0,005	0,005
Befüll-Emissionen	kg /a	0,00020	0,00020	0,00010	0,00020
Leckrate	[1]	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
Betriebsemissionen	kg /a	0,004	0,004	0,002	0,004
techn tolerabler Verlust	[1]	0,2	0,2	0,2	0,2
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,9	0,9	0,9	0,9
Rückgewinnungsrate	[1]	0,4	0,6	0,4	0,4
Ents. Emissionsrate	[1]	0,6	0,4	0,6	0,6
Ents. Emissionen	kg/a	0,02	0,01	0,01	0,02
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	0,05	0,04	0,00	0,00
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,01	0,00	0,04	0,04
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	20,00	20,00	20,00	20,00
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	10	10	10	10
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a				
Verbrauch	kg /a	0,04	0,04	0,02	0,04
Verbrauch	tCO2 eq / a	0,1	0,1	0,000	0,00
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,00	0,000	0,08	0,08
Energieverbrauch	kWh	1.800	1.800	1.746	1.710
Kosten der el kWh	*€*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*
Energiekosten	€/a	378	378	367	359
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	0,00	0,00	0,00	0,00
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233
Jährliche Betriebskosten	€ /a	378,00	380,50	366,66	359,10
Jährliche Investitionskosten	€ /a	124	124	137	146
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	502	505	504	505
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-2,50	0	-1	0
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**-18,7**	**6,5**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**-8,6**	**3,0**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			60	20
AT Verfügbarkeit 2020	%			85	40
AT Verfügbarkeit 2030	%			85	60
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			60	20
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			85	15
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			85	15
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			60	20
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			85	15
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			85	15
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**-14,89**	
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**-6,89**	
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		126		
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		1		
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		13		
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		43		
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			57	
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			127	
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		57		
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		127		
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			48	8
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			108	19
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			48	8
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			108	19

Technologien und Vermeidungskosten	4	Industriekälte - Mittlere Anlagen		
		BAU R-404A direkt	RefTech R-404A direkt	AT R-717
install. Kälteleistung	*kW*	*270*	*270*	*270*
install. Elektroleistung	kW	110	110	97,9
Laufzeit pro Jahr	h/y	4.500	4.500	4.500
Investitionsk. Anlage	€	425.000	425.000	680.000
Kältemittel-Füllmenge	kg	650	650	650
Kosten Erstbefüllung	€	10.637	10.637	1.300
GWP des Kältemittels		3.311	3.311	0
Lebensdauer	*Jahre*	30	30	30
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	1.105	
Zusätzliche Wartung	€/a			1.000
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,01	0,01	0,01
Befüll-Emissionen	kg /a	0,217	0,217	0,217
Leckrate	[1]	0,0650	0,0455	0,065
Betriebsemissionen	kg /a	42,25	29,575	42,25
techn tolerabler Verlust	[1]	0,3	0,3	0,3
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,85	0,85	0,85
Rückgewinnungsrate	[1]	0,75	0,8	0,75
Ents. Emissionsrate	[1]	0,25	0,2	0,25
Ents. Emissionen	kg/a	4,60	3,68	4,60
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	155,86	110,84	0,00
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	45,02	0,00	110,84
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	4,62	6,59	4,62
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	2,307692308	3,29670	2,307692308
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	39,000	26,325	39,000
Verbrauch	kg /a	60,88	48,21	60,88
Verbrauch	tCO2 eq / a	201,6	159,6	0,000
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	41,97	0,000	159,62
Energieverbrauch	kWh	495.000	495.000	440.550
Kosten der el kWh	€	*0,18*	*0,18*	*0,18*
Energiekosten	€/a	89.100	89.100	79.299
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	1.276,47	861,62	156,00
Diskontsatz	%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,0578	0,0578	0,0578
Jährliche Betriebskosten	€ /a	90.376,47	91.066,15	80.455,00
Jährliche Investitionskosten	€ /a	25.193	25.193	39.400
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	115.569	116.259	119.855
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-689,68	0	3.596
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**32,4**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**22,5**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			20
AT Verfügbarkeit 2020	%			40
AT Verfügbarkeit 2030	%			90
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			20
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			40
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			90
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			20
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			40
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			90
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**32,44**
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**22,53**
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		185	
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		2	
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		263	
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		30	
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			77
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			235
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		295	
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		421	
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			77
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			235
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			77
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			235

Technologien und Vermeidungskosten	5	Industriekälte Großanlagen		
		BAU R-404A direkt	RefTech R-404A direkt	AT R-717
install. Kälteleistung	*kW*	*5.000*	*5.000*	*5.000*
install. Elektroleistung	kW	2.000	2.000	1.780
Laufzeit pro Jahr	h/y	4.500	4.500	4.500
Investitionsk. Anlage	€	6.000.000	6.000.000	9.600.000
Kältemittel-Füllmenge	kg	4.000	4.000	4.000
Kosten Erstbefüllung	€	65.460	65.460	8.000
GWP des Kältemittels		3.311	3.311	0
Lebensdauer	*Jahre*	30	30	30
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	1.243	
Zusätzliche Wartung	€/a			2.000
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,01	0,01	0,01
Befüll-Emissionen	kg /a	1,333	1,333	1,333
Leckrate	[1]	0,0650	0,0455	0,07
Betriebsemissionen	kg /a	260	182	260
techn tolerabler Verlust	[1]	0,3	0,3	0,3
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,85	0,85	0,85
Rückgewinnungsrate	[1]	0,75	0,8	0,75
Ents. Emissionsrate	[1]	0,25	0,2	0,25
Ents. Emissionen	kg/a	28,33	22,67	28,33
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	959,11	682,08	0,00
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	277,03	0,00	682,08
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	4,62	6,59	4,62
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	2,307692308	3,29670	2,307692308
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	240,000	162,000	240,000
Verbrauch	kg /a	374,67	296,67	374,67
Verbrauch	tCO2 eq / a	1240,6	982,3	0,000
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	258,26	0,000	982,29
Energieverbrauch	kWh	9.000.000	9.000.000	8.010.000
Kosten der el kWh	€	*0,18*	*0,18*	*0,18*
Energiekosten	€/a	1.620.000	1.620.000	1.441.800
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	7.855,20	5.302,26	960,00
Diskontsatz	%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,0578	0,0578	0,0578
Jährliche Betriebskosten	€ /a	1.627.855,20	1.626.544,79	1.444.760,00
Jährliche Investitionskosten	€ /a	350.766	350.766	555.632
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	1.978.621	1.977.311	2.000.392
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	1310,41	0	23.081
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**33,84**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**23,50**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			20
AT Verfügbarkeit 2020	%			40
AT Verfügbarkeit 2030	%			90
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			20
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			40
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			90
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			20
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			40
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			90
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**33,84**
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**23,50**
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		432	
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		4	
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		613	
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		71	
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			179
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			548
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		688	
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		982	
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			179
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			548
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			179
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			548

Technologien und Vermeidungskosten	6	Kühlfahrzeug Transportertyp			
		BAU R-134a/R404A	RefTech R-134a/R404A Art4(1)	AT R-744	AT R-1234yf
install. Kälteleistung	*kW*	*3*	*3*	*3*	*3*
install. Elektroleistung	kW	1,5	1,5	1,3875	1,5
Laufzeit pro Jahr	h/y	1.500	1.500	1.500	1.500
Investitionsk. Anlage	€	3.000	3.000	3.450	3.150
Kältemittel-Füllmenge	kg	2	2	1,3	2
Kosten Erstbefüllung	€	32	32	5	120
GWP des Kältemittels		2.676	2.676	1	4
Lebensdauer	*Jahre*	10	10	10	10
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	5,00		
Zusätzliche Wartung	€/a			50	
Emissionsrate Befüllung	[1]				
Befüll-Emissionen	kg /a	0,001	0,001	0,001	0,001
Leckrate	[1]	0,30	0,30	0,30	0,30
Betriebsemissionen	kg /a	0,6	0,6	0,4	0,6
techn tolerabler Verlust	[1]	0,25	0,25	0,25	0,25
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,875	0,875	0,875	0,875
Rückgewinnungsrate	[1]	0,3	0,6	0,3	0,3
Ents. Emissionsrate	[1]	0,7	0,4	0,7	0,7
Ents. Emissionen	kg/a	0,12	0,07	0,08	0,12
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	1,93	1,79	0,00	0,00
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,14		1,79	1,79
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	0,83	0,83	0,83	0,83
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	0,417	0,417	0,417	0,417
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	0,575	0,575	0,383	0,575
Verbrauch	kg /a	0,78	0,78	0,52	0,78
Verbrauch	tCO2 eq / a	2,1	2,1	0,00	0,00
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,00		2,07	2,07
Energieverbrauch	kWh	2.250	2.250	2.081	2.250
Kosten der el kWh	*€*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*
Energiekosten	€/a	473	473	437	473
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	18,11	18,11	3,07	69,00
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233
Jährliche Betriebskosten	€ /a	490,61	495,61	490,13	541,50
Jährliche Investitionskosten	€ /a	374	374	426	403
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	864	869	916	945
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-5,00		47	75
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**26,1**	**42,0**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**22,5**	**36,3**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			3	3
AT Verfügbarkeit 2020	%			30	70
AT Verfügbarkeit 2030	%			65	100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			3	3
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			30	70
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			50	50
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			3	3
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			30	70
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			50	50
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**34,05**	
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**29,44**	
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq	18			
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq	0,04			
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq	53			
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq	6			
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			60	
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			71	
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		60		
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		71		
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			24	36
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			31	40
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq		0	24	36
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq		0	31	40

Technologien und Vermeidungskosten	7	Kühlfahrzeug Lkw+Anhänger			
		BAU R404A/R410A §3+4	RefTech R404A/R410A §3+4	AT R-290 direkt	AT R-744
install. Kälteleistung	*kW*	*9*	*9*	*9*	*9*
install. Elektroleistung	kW	8	8	7,76	7,84
Laufzeit pro Jahr	h/y	4.000	4.000	4.000	4.000
Investitionsk. Anlage	€	20.000	20.000	22.400	22.200
Kältemittel-Füllmenge	kg	6,5	6,5	3,25	4,3
Kosten Erstbefüllung	€	106	106	49	17
GWP des Kältemittels		3.503	3.503	3	1
Lebensdauer	*Jahre*	10	10	10	10
Kosten durch § 3+4	€/a	0	67,7	0	
Zusätzliche Wartung	€/a				50
Emissionsrate Befüllung	[1]				
Befüll-Emissionen	kg /a	0,001	0,001	0,001	0,001
Leckrate	[1]	0,15	0,105	0,15	0,15
Betriebsemissionen	kg /a	0,975	0,6825	0,4875	0,65
techn tolerabler Verlust	[1]	0,25	0,25	0,25	0,25
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,875	0,875	0,875	0,875
Rückgewinnungsrate	[1]	0,4	0,7	0,4	0,4
Ents. Emissionsrate	[1]	0,6	0,3	0,6	0,6
Ents. Emissionen	kg/a	0,34	0,17	0,17	0,26
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	4,61	2,99	0,00	0,00
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	1,62	0,00	2,99	2,99
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	*[1]*	*1,67*	*2,38*	*1,67*	*1,67*
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	*[1]*	*0,83*	*1,19*	*0,83*	*0,83*
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	0,894	0,601	0,447	0,596
Verbrauch	kg /a	1,54	1,25	0,77	1,03
Verbrauch	tCO2 eq / a	5,4	4,384	0,00	0,00
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	1,02	0,00	4,38	4,38
Energieverbrauch	kWh	32.000	32.000	31.040	31.360
Kosten der el kWh	*€*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*
Energiekosten	€/a	6.720	6.720	6.518	6.586
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	29,28	19,70	13,41	4,77
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233
Jährliche Betriebskosten	€ /a	6.749,28	6.807,36	6.531,81	6.640,37
Jährliche Investitionskosten	€ /a	2.479	2.479	2.768	2.739
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	9.228	9.286	9.300	9.380
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-58,08	0	13	93
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**4,4**	**31,2**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**3,0**	**21,3**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			20	12,5
AT Verfügbarkeit 2020	%			40	25
AT Verfügbarkeit 2030	%			80	45
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			20	12,5
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			40	25
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			80	20
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			20	12,5
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			40	25
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			80	20
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**9,78**	
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**6,67**	
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq	155			
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq	0,13			
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq	268			
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq	60			
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			265	
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			379	
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		328		
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		421		
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			190	75
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			289	90
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			190	75
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			289	90

Technologien und Vermeidungskosten	8	Kühl-Container			
		BAU R134a/R404A §3+4	RefTech R134a/R404A §3+4		AT R-744
install. Kälteleistung	*kW*	*6*	*6*		*6*
install. Elektroleistung	kW	4	4		4
Laufzeit pro Jahr	h/y	2.000	2.000		2.000
Investitionsk. Anlage	€	6.000	6.000		6.600
Kältemittel-Füllmenge	kg	4,5	4,5		3,0
Kosten Erstbefüllung	€	69	69		12
GWP des Kältemittels		1.928	1.928		1
Lebensdauer	*Jahre*	14	14		14
Kosten durch § 3+4	€/a	0	100,9		
Zusätzliche Wartung	€/a				85
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,01	0,01		0,01
Befüll-Emissionen	kg /a	0,0032	0,0032		0,0021
Leckrate	[1]	0,10	0,070		0,10
Betriebsemissionen	kg /a	0,45	0,315		0,3
techn tolerabler Verlust	[1]	0,25	0,25		0,25
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,875	0,875		0,875
Rückgewinnungsrate	[1]	0,1	0,5		0,1
Ents. Emissionsrate	[1]	0,9	0,5		0,9
Ents. Emissionen	kg/a	0,25	0,14		0,17
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	1,36	0,88		0,00
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,48	0,00		0,88
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	*[1]*	*2,50*	*3,57*		*2,50*
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	*[1]*	*1,25*	*1,79*		*1,25*
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	0,410	0,275		0,273
Verbrauch	kg /a	0,73	0,60		0,49
Verbrauch	tCO2 eq / a	1,4	1,156		0,00
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,26	0,00		1,16
Energieverbrauch	kWh	8.000	8.000		8.000
Kosten der el kWh	*€*	*0,18*	*0,18*		*0,18*
Energiekosten	€/a	1.440	1.440		1.440
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	12,54	8,41		2,19
Diskontsatz	%	4%	4%		4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,0947	0,0947		0,0947
Jährliche Betriebskosten	€ /a	1.452,54	1.549,33		1.527,19
Jährliche Investitionskosten	€ /a	575	575		626
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	2.027	2.124		2.153
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-96,79	0		29
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq				**33,1**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq				**25,3**
AT-Verfügbarkeit 2015	%				10
AT Verfügbarkeit 2020	%				70
AT Verfügbarkeit 2030	%				100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%				10
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%				70
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%				100
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			0	10
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			0	70
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			0	100
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq				**33,11**
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq				**25,34**
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq	0			
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq	0,00			
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq	108			
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq	0			
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq				83
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq				72
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		108		
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		94		
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq				83
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq				72
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			0	83
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			0	72
Befüllemissionen zu REfTech (GWP-gewichtet)	[1]	100%	100,000%		0,035%
Betriebsemissionen zu REfTech (GWP-gewichtet)	[1]	143%	100,000%		0,049%
Entsorgungsemissionen zu REfTech (GWP-gewichtet)	[1]	180%	100,000%		0,062%
Erstbefüllung zu REfTech (GWP-gewichtet)	[1]	100%	100,000%		0,035%
EM 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq		0,0		0,00
Verbrauch 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq		0,0		0,00

Technologien und Vermeidungskosten	9	Mobiles Raumklimagerät					
		BAU R-410A direkt	RefTech R-410A direkt	AT R 290 direkt	AT R-744 transkritisch	AT R-1234yf direkt	AT R-32 direkt
install. Kälteleistung	*kW*	3	3	3	3	3	3
install. Elektroleistung	kW	0,665	0,665	0,665	0,665	0,665	0,665
Laufzeit pro Jahr	h/y	500	500	500	500	500	500
Investitionsk. Anlage	€	300	300	308	362	317	308
Kältemittel-Füllmenge	kg	0,75	0,75	0,375	0,5	0,75	0,6225
Kosten Erstbefüllung	€	12	12	6	2	45	9
GWP des Kältemittels		2.088	2.088	3	1	4	675
Lebensdauer	*Jahre*	10	10	10	10	10	10
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	2,50	0	0		0
Zusätzliche Wartung	€/a						
Emissionsrate Befüllung	[1]	0	0	0	0	0	0
Befüll-Emissionen	kg /a	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Leckrate	[1]	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Betriebsemissionen	kg /a	0,01875	0,01875	0,009375	0,0125	0,01875	0,02
techn tolerabler Verlust	[1]	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875
Rückgewinnungsrate	[1]	0,25	0,4	0,25	0,25	0,25	0,25
Ents. Emissionsrate	[1]	0,75	0,6	0,75	0,75	0,75	0,75
Ents. Emissionen	kg/a	0,05	0,04	0,02	0,03	0,05	0,04
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	0,1419	0,1214	0,0001	0,0000	0,0003	0,0381
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,02	0,00	0,12	0,12	0,12	0,08
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	5	5	5	5	5	5
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a						
Verbrauch	kg /a	0,08	0,08	0,04	0,05	0,08	0,06
Verbrauch	tCO2 eq / a	0,2	0,2	0,000	0,00	0,00	0,04
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,00	0,000	0,16	0,16	0,16	0,11
Energieverbrauch	kWh	333	333	333	333	333	333
Kosten der el kWh	€	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Energiekosten	€/a	76	76	76	76	76	76
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233
Jährliche Betriebskosten	€ /a	76,48	78,98	76,48	76,48	76,48	76,48
Jährliche Investitionskosten	€ /a	38,5	39	39	45	45	39
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	115	117	115	121	121	116
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-2,50	0	-2	3,8	3,6	-2
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**-19,9**	**31,35**	**29,37**	**-23,4**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**-15,4**	**24,3**	**22,8**	**-17,0**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			20	20	1	15
AT Verfügbarkeit 2020	%			50	30	35	30
AT Verfügbarkeit 2030	%			60	40	70	40
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			20	20	1	15
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			50	20	20	
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			60	20	20	
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			20	20	1	15
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			50	20	20	0
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			60	20	20	0
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**0,23**			
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**0,18**			
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		0				
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		0				
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		33				
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		59				
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			84			
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			0			
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		91				
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		0				
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			47	18	18	0
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			0	0	0	0
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			47	18	18	0
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			0	0	0	0

Technologien und Vermeidungskosten	10	Einfaches Split-Raumklimagerät					
		BAU R-410A direkt	RefTech R-410A direkt	AT R 290 direkt	AT R-744 transkritisch	AT R-1234yf direkt	AT R-32 direkt
install. Kälteleistung	*kW*	*4,5*	*4,5*	*4,5*	*4,5*	*4,5*	*4,5*
install. Elektroleistung	kW	1	1	1	1	1	*1*
Laufzeit pro Jahr	h/y	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	*1.500*
Investitionsk. Anlage	€	750	750	803	941	791	769
Kältemittel-Füllmenge	kg	1,5	1,5	0,75	1,0	1,5	*0,9*
Kosten Erstbefüllung	€	25	25	11	4	90	14
GWP des Kältemittels		2.088	2.088	3	1	4	*675*
Lebensdauer	*Jahre*	10	10	10	10	10	*10*
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	8,50	0	0	0	*8,50*
Zusätzliche Wartung	€/a						
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Befüll-Emissionen	kg /a	0,0005	0,00050	0,00025	0,00033	0,00050	0,00030
Leckrate	[1]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	*0,05*
Betriebsemissionen	kg /a	0,075	0,075	0,0375	0,05	0,075	0,05
techn tolerabler Verlust	[1]	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875
Rückgewinnungsrate	[1]	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4
Ents. Emissionsrate	[1]	0,6	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
Ents. Emissionen	kg/a	0,08	0,05	0,04	0,05	0,08	0,05
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	0,3221	0,2673	0,0002	0,0001	0,0006	0,0625
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,05	0,00	0,27	0,27	0,27	0,20
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	0,056	0,056	0,028	0,038	0,056	0,034
Verbrauch	kg /a	0,21	0,21	0,10	0,14	0,21	0,12
Verbrauch	tCO2 eq / a	0,4	0,4	0,000	0,00	0,00	0,08
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,00	0,000	0,43	0,43	0,43	0,35
Energieverbrauch	kWh	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Kosten der el kWh	*€*	*0,23*	*0,23*	*0,23*	*0,23*	*0,23*	*0,23*
Energiekosten	€/a	345	345	345	345	345	345
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	1,86	1,86	0,84	0,30	6,75	1,01
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233
Jährliche Betriebskosten	€ /a	346,86	355,36	345,84	345,30	351,75	354,51
Jährliche Investitionskosten	€ /a	96	96	100	117	109	96
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	442	451	446	462	460	451
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-8,50	0	-5	11	10	0
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**-17,6**	**41,0**	**35,7**	**0,4**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**-10,9**	**25,4**	**22,1**	**0,2**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			20	10	1	*15*
AT Verfügbarkeit 2020	%			40	15	45	*30*
AT Verfügbarkeit 2030	%			40	30	45	*40*
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			20	10	1	*15*
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			40	15	45	
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			40	30	30	
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			20	10	1	15
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			40	15	45	0
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			40	30	30	0
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**15,98**			
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**9,89**			
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		26				
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		3				
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		340				
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		197				
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq					539	
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq					283	
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		539				
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		283				
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			216	109	214	0
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			113	68	102	0
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			216	109	214	0
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			113	68	102	0

Technologien und Vermeidungskosten	11	Multi-Split/VRF Raumklimageräte					
		BAU R-410A direkt	RefTech R-410A direkt	AT R 290 indirekt (Sole)	AT R-744 transkritisch	AT R-1234yf direkt	AT R-290 + verdampf. Zweitkreislauf
install. Kälteleistung	*kW*	27	27	27	27	27	27
install. Elektroleistung	kW	8	8	8	8	8	8
Laufzeit pro Jahr	h/y	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Investitionsk. Anlage	€	9.500	9.500	11.970	11.115	10.925	12.920
Kältemittel-Füllmenge	kg	9,5	9,5	2	6,3	9,5	2
Kosten Erstbefüllung	€	157	157	30	25	570	30
GWP des Kältemittels		2.088	2.088	3	1	4	3
Lebensdauer	*Jahre*	13	13	13	13	13	13
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	208			0	0
Zusätzliche Wartung	€/a				85		
Auffüllung	kg	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25
Befüll-Emissionen (EF = 1%)	kg /a	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Leckrate	[1]	0,065	0,046	0,065	0,065	0,065	0,065
Betriebsemissionen	kg /a	0,6175	0,43225	0,13	0,412	0,6175	0,13
techn tolerabler Verlust	[1]	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875
Rückgewinnungsrate	[1]	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6
Ents. Emissionsrate	[1]	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4
Ents. Emissionen	kg/a	0,26	0,13	0,05	0,17	0,26	0,05
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	1,83	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,65	0,00	1,17	1,17	1,17	1,17
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	3,85	5,49	3,85	3,85	3,85	3,85
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	1,92	2,75	1,92	1,92	1,92	1,92
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	0,526	0,341	0,111	0,351	0,526	0,111
Verbrauch	kg /a	0,78	0,59	0,36	0,60	0,78	0,36
Verbrauch	tCO2 eq / a	1,6	1,2	0,001	0,00	0,00	0,00
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,39	0,000	1,24	1,24	1,24	1,24
Energieverbrauch	kWh	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
Kosten der el kWh	€	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*
Energiekosten	€/a	5.040	5.040	5.040	5.040	5.040	5.040
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	17,36	11,25	3,32	2,81	63,14	3,32
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,1001	0,1001	0,1001	0,1001	0,1001	0,1001
Jährliche Betriebskosten	€ /a	5.057,36	5.259,26	5.043,32	5.127,81	5.103,14	5.043,32
Jährliche Investitionskosten	€ /a	967	967	1.202	1.116	1.151	1.297
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	6.024	6.226	6.245	6.243	6.254	6.340
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-201,90	0	19	17	28	114
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**15,9**	**14,6**	**23,9**	**97,0**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**15,1**	**13,8**	**22,6**	**92,0**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			20	20	1	5
AT Verfügbarkeit 2020	%			30	40	30	10
AT Verfügbarkeit 2030	%			70	60	70	20
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			20	20	1	5
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			30	40	30	0
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			60	20	20	0
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			20	20	1	0
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			30	40	30	0
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			60	20	20	0
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**17,25**			
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**16,36**			
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		407				
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		4				
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		585				
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		121				
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			656			
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			865			
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		710				
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		876				
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			278	214	159	5
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			443	225	196	1
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			278	214	159	0
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			443	225	196	0

Technologien und Vermeidungskosten	12a	Flüssigkeitskühlsatz (Verdrängungs-Verdichter) klein					
		BAU R-410A	RefTech R-410A	AT R 290	AT R-723	AT R-744 transkritisch	AT R-1234yf
install. Kälteleistung	*kW*	*80*	80	80	80	80	80
install. Elektroleistung	kW	28	28	27,16	26,32	27,72	28
Laufzeit pro Jahr	h/y	1.860	1.860	1.860	1.860	1.860	1.860
Investitionsk. Anlage	€	18.000	18.000	25.200	27.540	23.400	19.710
Kältemittel-Füllmenge	kg	26	26	13,0	18,0	17,3	28,6
Kosten Erstbefüllung	€	429	429	195	216	69	1.716
GWP des Kältemittels		2.088	2.088	3	2	1	4
Lebensdauer	*Jahre*	15	15	15	15	15	15
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	258	0			0
Zusätzliche Wartung	€/a				135		
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Befüll-Emissionen	kg /a	0,009	0,009	0,004	0,006	0,006	0,010
Leckrate	[1]	0,04	0,028	0,04	0,04	0,04	0,04
Betriebsemissionen	kg /a	1,04	0,728	0,52	0,72	0,7	1,14
techn tolerabler Verlust	[1]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,9	0,90	0,9	0,9	0,9	0,9
Rückgewinnungsrate	[1]	0,75	0,8	0,75	0,75	0,75	0,75
Ents. Emissionsrate	[1]	0,25	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25
Ents. Emissionen	kg/a	0,39	0,31	0,20	0,27	0,26	0,43
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	3,00	2,19	0,002	0,002	0,001	0,01
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,81	0,00	2,187	2,188	2,189	2,183
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	5,0	7,14	5,0	5,0	5,0	5,0
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	2,5	3,57	2,5	2,5	2,5	2,5
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	0,867	0,555	0,433	0,600	0,578	0,953
Verbrauch	kg /a	2,61	2,30	1,30	1,81	1,74	2,87
Verbrauch	tCO2 eq / a	5,4	4,8	0,004	0,00	0,00	0,01
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,65	0,000	4,79	4,79	4,79	4,78
Energieverbrauch	kWh	52.080	52.080	50.518	48.955	51.559	52.080
Kosten der el kWh	*€*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*
Energiekosten	€/a	10.937	10.937	10.609	10.281	10.827	10.937
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	28,60	18,30	13,00	14,40	4,62	114,40
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,0899	0,0899	0,0899	0,0899	0,0899	0,0899
Jährliche Betriebskosten	€ /a	10.965,40	11.213,37	10.621,70	10.429,99	10.832,05	11.051,20
Jährliche Investitionskosten	€ /a	1.658	1.658	2.284	2.496	2.111	1.927
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	12.623	12.871	12.906	12.926	12.943	12.978
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-247,97	0	35	56	72	107
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**15,9**	**25,4**	**32,9**	**49,2**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**7,3**	**11,6**	**15,0**	**22,4**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			20	20	10	1
AT Verfügbarkeit 2020	%			30	30	20	30
AT Verfügbarkeit 2030	%			40	50	20	50
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			20	20	10	1
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			30	30	20	20
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			40	50	10	
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			20	20	10	1
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			30	30	20	20
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			40	50	10	0
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**22,35**			
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**10,20**			
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		45				
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		0				
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		51				
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		18				
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			57			
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			81			
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		69				
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		84				
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			20	22	9	5
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			30	36	10	4
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			20	22	9	5
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			30	36	10	4

Technologien und Vermeidungskosten	12b	Flüssigkeitskühlsatz (Verdrängungs-Verdichter) groß					
		BAU R-134a	RefTech R-134a	AT R 290	AT R-717	AT R-744 transkritisch	AT R-1234yf
install. Kälteleistung	*kW*	*400*	400	400	400	400	400
install. Elektroleistung	kW	129	129,0	127,1	122,6	127,1	127,7
Laufzeit pro Jahr	h/y	1.860	1.860	1.860	1.860	1.860	1.860
Investitionsk. Anlage	€	70.000	70.000	84.000	105.000	87.500	77.000
Kältemittel-Füllmenge	kg	150	150	75	75	100	150
Kosten Erstbefüllung	€	2.250	2.250	1.125	150	400	9.000
GWP des Kältemittels		1.430	1.430	3	0	1	4
Lebensdauer	*Jahre*	15	15	15	15	15	15
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	258	0			0
Zusätzliche Wartung	€/a				135		
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Befüll-Emissionen	kg /a	0,050	0,050	0,025	0,025	0,033	0,050
Leckrate	[1]	0,04	0,028	0,04	0,04	0,04	0,04
Betriebsemissionen	kg /a	6	4,2	3,0	3,0	4,0	6,00
techn tolerabler Verlust	[1]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Rückgewinnungsrate	[1]	0,75	0,80	0,75	0,75	0,75	0,75
Ents. Emissionsrate	[1]	0,25	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25
Ents. Emissionen	kg/a	2,25	1,80	1,13	1,13	1,50	2,25
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	11,87	8,65	0,012	0,000	0,006	0,03
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	3,22	0,00	8,6	8,65	8,65	8,62
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	5,0	7,14	5,0	5,0	5,0	5,0
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	2,5	3,57	2,5	2,5	2,5	2,5
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	5,0	3,2	2,5	2,5	3,3	5,0
Verbrauch	kg /a	15,05	13,25	7,53	7,53	10,03	15,05
Verbrauch	tCO2 eq / a	21,5	18,9	0,023	0,00	0,01	0,06
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	2,57	0,000	18,92	18,95	18,94	18,89
Energieverbrauch	kWh	240.000	240.000	236.400	228.000	236.400	237.600
Kosten der el kWh	*€*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*
Energiekosten	€/a	50.400	50.400	49.644	47.880	49.644	49.896
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	150,00	96,00	75,00	10,00	26,67	600,00
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,0899	0,0899	0,0899	0,0899	0,0899	0,0899
Jährliche Betriebskosten	€ /a	50.550,00	50.754,27	49.719,00	48.025,00	49.670,67	50.496,00
Jährliche Investitionskosten	€ /a	6.498	6.498	7.656	9.457	7.906	7.735
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	57.048	57.253	57.375	57.482	57.576	58.231
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-204,27	0	123	230	324	978
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**14,2**	**26,6**	**37,5**	**113,5**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**6,5**	**12,1**	**17,1**	**51,8**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			20	20	10	1
AT Verfügbarkeit 2020	%			30	40	20	40
AT Verfügbarkeit 2030	%			40	70	20	50
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			20	20	10	1
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			30	40	20	
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			35	60	5	
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			20	20	10	0
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			30	40	20	0
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			35	60	5	0
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**22,79**			
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**10,40**			
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		207				
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		1				
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		244				
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		95				
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			266			
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			373			
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		340				
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		394				
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			94	129	42	1
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			130	208	35	0
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			94	129	42	0
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			130	208	35	0

Technologien und Vermeidungskosten	13	Turboverdichter-Anlagen				
		BAU R 134a	RefTech R 134a	AT R 290 nur Prozessk.	AT R 718	AT R 1234ze
install. Kälteleistung	*kW*	*1500*	*1500*	*1500*	*1500*	*1500*
install. Elektroleistung	kW	300	300	300	300	300
Laufzeit pro Jahr	h/y	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Investitionsk. Anlage	€	140.000	140.000	168.000	175.000	147.000
Kältemittel-Füllmenge	kg	450	450	250	750	450
Kosten Erstbefüllung	€	6.750	6.750	3.750	10	13.500
GWP des Kältemittels		1.430	1.430	3	0	6
Lebensdauer	*Jahre*	25	25	25	25	25
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	850	0	0	0
Zusätzliche Wartung	€/a				185	
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Befüll-Emissionen	kg /a	0,090	0,090	0,050	0,150	0,090
Leckrate	[1]	0,04	0,028	0,04	0,04	0,04
Betriebsemissionen	kg /a	18	12,6	10		18
techn tolerabler Verlust	[1]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Rückgewinnungsrate	[1]	0,9	0,95	0,9	0,9	0,9
Ents. Emissionsrate	[1]	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1
Ents. Emissionen	kg/a	1,62	0,81	0,90	2,70	1,62
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	28,19	19,31	0,03	0,00	0,12
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	8,88	0,00	19,27	19,31	19,19
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	5,0	7,14	5,0	5,0	5,0
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	2,5	3,6	2,5	2,5	2,5
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	16,2	10,8	9,0	0,0	16,2
Verbrauch	kg /a	34,29	28,89	19,05	30,15	34,29
Verbrauch	tCO2 eq / a	49,0	41,3	0,057	0,00	0,21
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	7,72	0,000	41,26	41,31	41,11
Energieverbrauch	kWh	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000
Kosten der el kWh	€	*0,18*	*0,18*	*0,18*	*0,18*	*0,18*
Energiekosten	€/a	108.000	108.000	108.000	108.000	108.000
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	486,00	324,00	270,00	1,00	972,00
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,0640	0,0640	0,0640	0,0640	0,0640
Jährliche Betriebskosten	€ /a	108.486,00	109.174,23	108.270,00	108.186,00	108.972,00
Jährliche Investitionskosten	€ /a	9.394	9.394	10.994	11.203	10.274
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	117.880	118.568	119.264	119.389	119.246
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-688,23	0	696	821	678
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**36,1**	**42,5**	**35,3**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**16,9**	**19,9**	**16,5**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			3	5	1
AT Verfügbarkeit 2020	%			10	10	30
AT Verfügbarkeit 2030	%			20	20	60
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			3	5	1
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			10	10	30
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			20	20	60
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			3	5	1
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			10	10	30
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			20	20	60
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**36,93**		
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**17,25**		
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		0			
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		0			
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		48			
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		16			
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			18		
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			16		
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		64			
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		41			
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			4	4	11
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			3	3	9
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			4	4	11
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			3	3	9

Technologien und Vermeidungskosten	14	Wärmepumpen (Heizen)					
		BAU R-410A /407C/134a	RefTech R-410A /407C/134a	AT R-290	AT R-744	AT R-600a	AT R-1234yf
install. Kälteleistung	*kW*	*11*	*11*	*11*	*11*	*11*	*11*
install. Elektroleistung	kW	3,1	3,1	2,883	3,1	3,1	3,1
Laufzeit pro Jahr	h/y	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Investitionsk. Anlage	€	8.380	8.380	9.637	9.386	8.967	8.883
Kältemittel-Füllmenge	kg	2,4	2,4	1,2	1,6	1,2	2,4
Kosten Erstbefüllung	€	39	39	18	6	18	144
GWP des Kältemittels		2.049	2.049	3	1	4	4
Lebensdauer	*Jahre*	15	15	15	15	15	15
Kosten durch Art 3+4	€/a	0	5,67	0	0	0	0
Zusätzliche Wartung	€/a						
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Befüll-Emissionen	kg /a	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
Leckrate	[1]	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Betriebsemissionen	kg /a	0,06	0,06	0,03	0,04	0,03	0,06
techn tolerabler Verlust	[1]	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Rückgewinnungsrate	[1]	0,5	0,65	0,5	0,5	0,5	0,5
Ents. Emissionsrate	[1]	0,5	0,35	0,5	0,5	0,5	0,5
Ents. Emissionen	kg/a	0,06	0,04	0,03	0,04	0,03	0,06
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	0,25	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,04	0,00	0,21	0,21	0,21	0,21
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]						
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]						
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr entfällt	kg /a						
Verbrauch	kg /a	0,16	0,16	0,08	0,11	0,08	0,16
Verbrauch	tCO2 eq / a	0,3	0,3	0,000	0,00	0,00	0,00
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,00	0,000	0,33	0,33	0,33	0,33
Energieverbrauch	kWh	6.200	6.200	5.766	6.200	6.200	6.200
Kosten der el kWh	€	*0,23*	*0,23*	*0,23*	*0,23*	*0,23*	*0,23*
Energiekosten	€/a	1.426	1.426	1.326	1.426	1.426	1.426
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	FALSCH	0,0899	0,0899	0,0899	0,0899	0,0899
Jährliche Betriebskosten	€ /a	1.426,00	1.431,67	1.326,18	1.426,00	1.426,00	1.426,00
Jährliche Investitionskosten	€ /a	0	757	868	845	808	812
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	1.426	2.189	2.195	2.271	2.234	2.238
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-762,92	0	6	82	45	49
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**26,8**	**388,6**	**214,7**	**233,0**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**17,1**	**248,4**	**137,2**	**148,9**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			10	10	20	1
AT Verfügbarkeit 2020	%			50	20	30	30
AT Verfügbarkeit 2030	%			70	50	60	90
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			10	10	20	1
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			50	0	25	25
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			70	0	15	15
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			10	0	0	0
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			50	0	0	0
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			70	0	0	0
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**26,81**			
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**17,14**			
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		1.452				
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		7				
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		231				
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		118				
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			137			
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			1.022			
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		357				
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		1.459				
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			137	0	0	0
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			1.022	0	0	0
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			137	0	0	0
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			1.022	0	0	0

Technologien und Vermeidungskosten	15	Bus-Klimaanlagen			
		BAU R 134a	RefTech R 134a (Art 4)	AT R-744	AT R-1234yf
install. Kälteleistung	*kW*	*25*	*25*	*25*	*25*
install. Elektroleistung	kW	16,7	*16,7*	16,7	16,7
Laufzeit pro Jahr	h/y	2.000	*2000*	2.000	2.000
Investitionsk. Anlage	€	13.000	*13000*	14.365	13.325
Kältemittel-Füllmenge	kg	11,34	*11,34*	7,6	11,34
Kosten Erstbefüllung	€	170	170	30	680
GWP des Kältemittels		1.430	*1430*	1	4
Lebensdauer	*Jahre*	15	*15*	15	15
Kosten durch Art 4	€/a	0	*10*		
Zusätzliche Wartung	€/a			50	
Emissionsrate Befüllung	[1]				
Befüll-Emissionen	kg /Anlage	0,050	0,05	0,05	0,05
Leckrate	[1]	0,15	*0,15*	0,15	0,15
Betriebsemissionen	kg /a	1,701	1,701	1,134	1,701
techn tolerabler Verlust	[1]	0,4	0,4	0,4	0,4
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,34	0,34	0,34	0,34
Rückgewinnungsrate	[1]	0,38	0,5	0,38	0,38
Ents. Emissionsrate	[1]	0,62	0,5	0,62	0,62
Ents. Emissionen	kg/a	0,16	0,13	0,11	0,16
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	2,73	2,69	0,00	0,01
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,04	0,00	2,69	2,68
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	2,67	2,67	2,67	2,67
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	1,33	1,33	1,33	1,33
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	1,550	1,550	1,033	1,550
Verbrauch	kg /a	2,36	2,36	1,59	2,36
Verbrauch	tCO2 eq / a	3,4	3,4	0,002	0,01
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,00	0,000	3,37	3,36
Energieverbrauch	kWh	33.333	33.333	33.333	33.333
Kosten der el kWh	*€*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*
Energiekosten	€/a	7.000	7.000	7.000	7.000
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	46,49	46,49	8,27	185,98
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,0899	0,0899	0,0899	0,0899
Jährliche Betriebskosten	€ /a	7.046,49	7.056,49	7.058,27	7.185,98
Jährliche Investitionskosten	€ /a	1.185	1.185	1.295	1.260
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	8.231	8.241	8.353	8.446
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-10,00	0	112	205
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**41,7**	**76,3**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**33,3**	**60,9**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			2,5	10
AT Verfügbarkeit 2020	%			50	60
AT Verfügbarkeit 2030	%			100	100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			2,5	10
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			50	50
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			100	0
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			2,5	0,0
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			50,0	0,0
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			100,0	0,0
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**41,68**	
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**33,25**	
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		124		
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		1		
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		156		
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		0		
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			139	
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			250	
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		157		
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		267		
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			97	41
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			213	37
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			97	0
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			213	0

Technologien und Vermeidungskosten	16	Nutzfahrzeug-Klimaanlagen			
		BAU R 134a	RefTech R 134a (Art 4)	AT R-744	AT R-1234yf
install. Kälteleistung	*kW*	*8*	8	8	8
install. Elektroleistung	kW	8	8	8	8
Laufzeit pro Jahr	h/y	300	*300*	300	300
Investitionsk. Anlage	€	300	*300*	317	304
Kältemittel-Füllmenge	kg	1	*1*	0,7	1
Kosten Erstbefüllung	€	15	15	3	60
GWP des Kältemittels		1.430	*1430*	1	4
Lebensdauer	*Jahre*	15	15	15	15
Kosten durch Art 4	€/a	0	*5*		
Zusätzliche Wartung	€/a			10	
Emissionsrate Befüllung	[1]				
Befüll-Emissionen	kg /Anlage	0,005	0,005	0,005	0,005
Leckrate	[1]	0,15	0,15	0,15	0,15
Betriebsemissionen	kg /a	0,15	0,15	0,1	0,15
techn tolerabler Verlust	[1]	0,4	0,4	0,4	0,4
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,34	0,34	0,34	0,34
Rückgewinnungsrate	[1]	0,38	0,5	0,38	0,38
Ents. Emissionsrate	[1]	0,62	0,5	0,62	0,62
Ents. Emissionen	kg/a	0,014	0,011	0,009	0,014
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	0,24	0,24	0,00	0,00
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,00	0,00	0,24	0,24
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	2,67	2,67	2,67	2,67
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	1,33	1,33	1,33	1,33
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	0,137	0,137	0,091	0,137
Verbrauch	kg /a	0,21	0,21	0,14	0,21
Verbrauch	tCO2 eq / a	0,3	0,3	0,000	0,00
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,00	0,000	0,30	0,30
Energieverbrauch	kWh	2.400	2.400	2.400	2.400
Kosten der el kWh	€	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*
Energiekosten	€/a	504	504	504	504
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	4,10	4,10	0,73	16,40
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,0899	0,0899	0,0899	0,0899
Jährliche Betriebskosten	€ /a	508,10	513,10	514,73	520,40
Jährliche Investitionskosten	€ /a	28	28	29	33
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	536	541	543	553
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-5,00	0	2	12
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**8,4**	**49,3**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**6,7**	**39,4**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			20	40
AT Verfügbarkeit 2020	%			50	80
AT Verfügbarkeit 2030	%			100	100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%				40
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%				80
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%				100
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			0	40
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			0	80
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			0	100
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**49,32**	
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**39,38**	
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		334		
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		2		
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		351		
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		2		
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			299	
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			607	
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		355		
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		656		
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			0	299
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			0	607
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			0	299
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			0	607

Technologien und Vermeidungskosten	17	See-Güterschiff-Klimaanlage			
		BAU R-134a direkt	RefTech R 134a	AT NH3/Sole	AT XP10 (DR-11)
install. Kälteleistung	*kW*	300	300	300	300
install. Elektroleistung	kW	55,3	55,3	46,86	55,3
Install. Leistung der Pumpe	kW			8	
Laufzeit pro Jahr	h/y	3.000	3000	3.000	3.000
Investitionsk. Anlage	€	38.000	38000	60.000	39.900
Kältemittel-Füllmenge	kg	160	160	53	160
Kosten Erstbefüllung	€	2.400	2.400	107	4.800
GWP des Kältemittels		1.430	*1430*	0	600
Lebensdauer	*Jahre*	*25*	*25*	*25*	25
Zusätzliche Wartung	€/a			1.000	
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,01	0,01	0,01	0,01
Befüll-Emissionen	kg /a	0,064	0,064	0,021	0,064
Leckrate	[1]	0,3	*0,3*	0,3	0,3
Betriebsemissionen	kg /a	48	48	16	48
techn tolerabler Verlust	[1]	0,4	0,4	0,4	0,4
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,8	0,8	0,8	0,8
Rückgewinnungsrate	[1]	0,3	0,5	0,3	0,3
Ents. Emissionsrate	[1]	0,7	0,5	0,7	0,7
Ents. Emissionen	kg/a	3,58	2,56	1,19	3,58
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	73,86	72,39	0,00	30,99
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	1,46	0,00	72,39	41,40
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	1,33	1,33	1,33	1,33
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	0,67	0,67	0,67	0,67
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	46,720	46,720	15,573	46,720
Verbrauch	kg /a	53,18	53,18	17,73	53,18
Verbrauch	tCO2 eq / a	76,1	76,1	0,00	31,91
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,00	0,000	76,05	44,14
Energieverbrauch	kWh	165.900	165.900	164.580	165.900
Kosten der el kWh	*€*	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*0,1*
Energiekosten	€/a	16.590	16.590	16.458	16.590
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	1.401,60	1.401,60	62,29	2803,20
Diskontsatz	%	4%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,0640	0,0640	0,0640	0,0640
Jährliche Betriebskosten	€ /a	17.991,60	17.991,60	17.520,29	19.393,20
Jährliche Investitionskosten	€ /a	2.586	2.586	3.848	2.861
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	20.578	20.578	21.368	22.255
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	0,00	0	790	1.677
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**10,9**	**40,5**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**10,4**	**38,0**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			70	1
AT Verfügbarkeit 2020	%			80	20
AT Verfügbarkeit 2030	%			90	90
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			70	1
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			80	20
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			90	10
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			70	1
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			80	20
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			90	10
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**12,68**	
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**12,06**	
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		8		
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		0		
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		19		
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		0		
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			10	
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			18	
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		19		
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		27		
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			8	1
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			15	2
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			8	1
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			15	2

Technologien und Vermeidungskosten	18	Schienenfahrzeug-Klimaanlagen		
		BAU R-134a	RefTech R134a Art 4	AT R-744
install. Kälteleistung	*kW*	*35*	*35*	*35*
install. Elektroleistung	kW	15	*15*	*15*
Laufzeit pro Jahr	h/y	2.000	*2000*	*2000*
Investitionsk. Anlage	€	25.000	*25000*	31.250
Kältemittel-Füllmenge	kg	8	*8*	5,3
Kosten Erstbefüllung	€	120	120	21
GWP des Kältemittels		1.430	*1430*	1
Lebensdauer	*Jahre*	25	*25*	*25*
Kosten durch Art 4	€/a	0	2	
Zusätzliche Wartung	€/a			50
Emissionsrate Befüllung	[1]	0,002	0,002	*0,002*
Befüll-Emissionen	kg /a	0,001	0,001	0,000
Leckrate	[1]	0,06	*0,06*	*0,06*
Betriebsemissionen	kg /a	0,48	0,48	0,32
techn tolerabler Verlust	[1]	0,25	0,25	0,25
Restfüllstand bei Ents.	[1]	0,875	0,875	0,875
Rückgewinnungsrate	[1]	0,6	0,8	0,6
Ents. Emissionsrate	[1]	0,4	0,2	0,4
Ents. Emissionen	kg/a	0,11	0,06	0,07
Emissionen GWP	tCO2 eq / a	0,85	0,77	0,000
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,08	0,00	0,77
Maximale Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	4,17	4,17	4,17
realist. Jahre o. Nachf vor Entsorg	[1]	2,083333333	2,08333	2,083333333
Nachfüllung pro Lebensdauer-Jahr	kg /a	0,440	0,44	0,3
Verbrauch	kg /a	0,76	0,76	0,51
Verbrauch	tCO2 eq / a	1,1	1,1	0,00
Verbr-Differenz zu RefTech	tCO2 eq / a	0,00	0,000	1,09
Energieverbrauch	kWh	30.000	30.000	30.000
Kosten der el kWh	€	*0,15*	*0,15*	*0,15*
Energiekosten	€/a	4.500	4.500	4.500
Kosten KM-Nachfüllung	€/a	13,20	13,20	2,35
Diskontsatz	%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes	[1]	0,0640	0,0640	0,0640
Jährliche Betriebskosten	€ /a	4.513,20	4.515,20	4.552,35
Jährliche Investitionskosten	€ /a	1.608	1.608	2.002
Jährliche Gesamtkosten	€ /a	6.121	6.123	6.554
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€ /a	-2,00	0	431
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**561,8**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**396,3**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			10
AT Verfügbarkeit 2020	%			50
AT Verfügbarkeit 2030	%			100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			10
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			50
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			100
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			10
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			50
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			100
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**561,81**
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**396,34**
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		12	
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		0	
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		35	
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		4	
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN	ktCO2eq			13
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN	ktCO2eq			24
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		39	
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		44	
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			13
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			24
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			13
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			24

Technologien und Vermeidun	19	Feuerlöschanlage mit HFKW-227ea		
		BAU HFKW-227ea	RefTech HFKW-227ea	AT FK-5-1-12
Technische Daten				
Raumgröße	m3	200	200	200
erforderliche Gas-Konzentration	kg/m3	0,6773	0,6773	0,8253
install. Gasmenge	kg	135,5	135,5	165,1
Investitionskosten der Anlage	€	10.000	10.000	11.500
Gaskosten Neufüllung pro kg	€/kg	12	12	18
Gaskosten der Anlage	€	1.626	1.626	2.971
Kosten Erstbefüllung		1.626	1.626	2.971
Total Investitionskosten	€	11.626	11.626	14.471
Lebensdauer	*Jahre*	20	20	20
Kosten durch Art 3+4	€ /Jahr		108	
Zusätzliche Wartung				
Befüll-Emissionsrate	%	0,1%	0,1%	0,1%
Befüll-Emissionen	kg	0,14	0,14	0,17
Leckrate pro Jahr	%	2,0%	1,8%	2,0%
Verlust/Nachfüllung pro Jahr	kg/Jahr	2,71	2,44	3,30
Entsorgungsverlustrate		10,0%	9,0%	10,0%
Entsorgungsemissionen	kg/y	0,68	0,43	0,83
Gesamte Emisssionen	kg	3,39	2,87	4,13
Verbrauch pro Jahr	kg	9,49	9,22	11,56
GWP		3.220	3.220	1
Klimawirks. Emissionen	tCO2 eq	10,93	9,25	0,00
Emiss Differenz zu RefTech	tCO2 eq	1,68		9,24
Klimawirks. Verbrauch	tCO2 eq	30,55	29,68	0,01
Energiekosten				
Kosten jährl. Nachfüllung	€	65,0	58,5	118,8
Verbrauchs-Diff zu RefTech	tCO2 eq	0,87		29,67
Diskontsatz	%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes		0,0736	0,0736	0,0736
Jährliche Betriebskosten	€	65,02	166,85	118,84
Jährliche Investitionskosten	€	855	855	1.065
Jährliche Gesamtkosten	€	920	1.022	1.184
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€	-102		161
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**17,46**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**5,44**
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			70
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			80
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			90
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			70
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			80
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			90
Erstbefüllung 2030	ktCO2eq		45	
Betriebsemissionen 2030	ktCO2eq		17	
Entsorgungsemissionen	ktCO2eq		8	
2030 av abat cost emiss	€/tCO2eq			**17,46**
2030 av abat cost cons	€/tCO2eq			**5,44**
Reduktion Emissionen 2030	ktCO2eq			11
Reduktion Verbrauch 2030	ktCO2eq			52
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		45	
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq			
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENAR	ktCO2eq		17	
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		8	
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN-	ktCO2eq			11
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN-S	ktCO2eq			52
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		25	
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		62	
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenari	ktCO2eq			11
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Sz	ktCO2eq			52
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			11
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			52

Technologien und Vermeidung	19a	Feuerlöschanlage mit HFKW-23		
		BAU HFKW-23	RefTech HFKW-23	AT FK-5-1-12
Technische Daten				
Raumgröße	m3	200	200	200
erforderliche Gas-Konzentration	kg/m3	0,61	0,61	0,83
install. Gasmenge	kg	122,0	122,0	165,1
Investitionskosten der Anlage	€	11.500	11.500	11.500
Gaskosten Neufüllung pro kg	€/kg	12	12	18
Gaskosten der Anlage	€	1.464	1.464	2.971
Kosten Erstbefüllung		1.464	1.464	2.971
Total Investitionskosten	€	12.964	12.964	14.471
Lebensdauer	*Jahre*	20	20	20
Kosten durch Art 3+4	€ /Jahr		108	
Zusätzliche Wartung				
Befüll-Emissionsrate	%	0,1%	0,1%	0,1%
Befüll-Emissionen	kg	0,12	0,12	0,17
Leckrate pro Jahr	%	2,0%	1,8%	2,0%
Verlust/Nachfüllung pro Jahr	kg/Jahr	2,44	2,20	3,30
Entsorgungsverlustrate		10,0%	9,0%	10,0%
Entsorgungsemissionen	kg/y	0,61	0,38	0,83
Gesamte Emisssionen	kg	3,06	2,59	4,13
Verbrauch pro Jahr	kg	8,55	8,30	11,56
GWP		14.800	14.800	1
Klimawirks. Emissionen	tCO2 eq	45,23	38,28	0,00
Emiss Differenz zu RefTech	tCO2 eq	6,95		38,27
Klimawirks. Verbrauch	tCO2 eq	126,48	122,87	0,01
Energiekosten				
Kosten jährl. Nachfüllung	€	58,6	52,7	118,8
Verbrauchs-Diff zu RefTech	tCO2 eq	3,61		122,86
Diskontsatz	%	4%	4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes		0,0736	0,0736	0,0736
Jährliche Betriebskosten	€	58,56	161,04	118,84
Jährliche Investitionskosten	€	954	954	1.065
Jährliche Gesamtkosten	€	1.012	1.115	1.184
Zusätzl. jährl. Kosten gegen RefTech	€	-102		69
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**1,79**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**0,56**
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			100
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			100
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			100
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			100
Erstbefüllung 2030	ktCO2eq		3	
Betriebsemissionen 2030	ktCO2eq		2	
Entsorgungsemissionen	ktCO2eq		0	
2030 av abat cost emiss	€/tCO2eq			**1,79**
2030 av abat cost cons	€/tCO2eq			**0,56**
Reduktion Emissionen 2030	ktCO2eq			2
Reduktion Verbrauch 2030	ktCO2eq			5
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		3	
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq			
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENAR	ktCO2eq		2	
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		0,15	
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN-	ktCO2eq			2
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN-S	ktCO2eq			5
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		3	
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		5	
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenari	ktCO2eq			2
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Sz	ktCO2eq			5
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			2
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			5

Technologien und Vermeidun	20	Technische Aerosole		
		BAU HFKW-134a	RefTech HFKW-134a	AT HFKW-1234ze
Handelsname		Micro Freeze Circuit Cooler	Micro Freeze Circuit Cooler	Micro•Freeze™ EU Circuit Chiller
		Big Blast Dry Circuit Cleaner	Big Blast Dry Circuit Cleaner	Big Blast EU Circuit Cleaner
		MicroCare DST	MicroCare DST	Big Blast™ EU Precision Duster
Aktiver Wirkstoff		100% HFC-134a	100% HFC-134a	100% unsat HFC-1234ze
Chemischer Name		Tetrafluoroethane	Tetrafluoroethane	Trans-1,3,3,3-tetrafluoropro-1-ene
Dosengröße	Gramm	280	280	280
F-Gas-Inhalt	Gramm	280	280	280
Flammbarkeit		nonflammable	nonflammable	nonflammable*
Siedepunkt		-26.5 °C	-26.5 °C	-19°C
Dampfdichte (Luft=1)		4,9 (25°C)	4,9 (25°C)	3,6 (25°C)
Preis f. Endverbraucher 280g-Dose	€	8,00	8,00	12,00
Preisunterschied 1 Dose	€			4,00
Preisunterschied pro kg	€			14,29
Preisunterschied Großhandel 1 Dose	€			*3,50*
GWP	CO2 eq	1.430	1.430	6
Emission pro kg	kgCO2 eq	1.430	1.430	6
Emissionsfaktor der Befüllung	[1]	0,015	0,015	0,015
Befüllemissionen pro Dose	Gramm	4,2	4,2	4,2
Betriebsemissionen pro Dose	Gramm	280	280	280
Emissionen pro Dose	Gramm	284,2	284,2	284,2
Verbrauch pro Dose	Gramm	284,2	284,2	284,2
Emissionen pro Dose	tCO2 eq	0,406406	0,406406	0,0017052
Emiss Diff zu RefTech	tCO2 eq	0,00	0,00	0,405
Verbrauch pro Dose	tCO2 eq	0,406406	0,406406	0,0017052
Verbrauchsdifferenz zu RefTech	tCO2 eq	0,00	0,00	0,405
Emiss Vermeidungskosten	€/tCO2eq			**9,88**
Verbrauchs-Vermeidungsk.	€/tCO2eq			**9,88**
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			25
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			95
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			95
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			25
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			95
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			95
2030 durchschn. Verm.-Kosten Emiss	€/tCO2eq			**9,88**
2030 durchschn. Verm.-Kosten Verbrau	€/tCO2eq			**9,88**
Emissionen 2030 RefTech	tCO2eq	250	250	
Reduktion 2030 Emissionen	tCO2eq			236
Erstbefüllung 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		246	
Befüllemissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq		4	
Betriebsemissionen 2030 REF-SZENAR	ktCO2eq		246	
Ents. Emissionen 2030 REF-SZENARIO	ktCO2eq			
Reduktion 2030 Emissionen FULL-MIN-	ktCO2eq			236
Reduktion 2030 Verbrauch FULL-MIN-S	ktCO2eq			238
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		250	
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		250	
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenari	ktCO2eq		0	236
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Sz	ktCO2eq		0	238
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			236
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			238
Befüllemissionen zu REfTech (GWP-ge	[1]		100,000%	0,420%
Betriebsemissionen zu REfTech (GWP-	[1]		100,000%	0,420%
Entsorgungsemissionen zu REfTech (G	[1]			
Erstbefüllung zu REfTech (GWP-gewich	[1]		100,000%	0,420%
EM 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq		14,21	237,52
Verbrauch 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq		12,50	237,52

Technologien und Vermeidungskos	21	XPS-134a			
		BAU HFKW-134a	REF HFKW-134a	AT Alk/CO2	AT HFKW-1234ze
Produkt		Dämmplatte 1200 x 600 x 140 mm, Dichte 35			
Gewicht 1 Platte	kg	3,528			
Quadratmeter pro Jahr	m2	740.646			
Masse jährlicher XPS-Produktion	t	2.613			
Treibmittel (Gewichtsteile)		6,5	6,5	5	7,5
Gesamte Gewichtsteile		100	100	100	100
Treibmittel Gewichtsprozent	%	6,5%	6,5%	5,0%	7,5%
Treibmittel-Verbrauch pro Jahr	t/a	170	170	130,6500	196
Wärmeleitfähigkeit	mW	29	29	34,8	29
Zuwachs Wärmeleitfähigkeit	%	-	-	20,0%	0,0%
Dichte des Schaums	kg/m3	35	35		
Jahresproduktion pro Anlage	m³/a	74657			
Marktpreis /m² (50mm Stärke)	€/m²	20	20		
Platten pro m³	1/m	20	20		
Marktpreis pro m³	€/m3	400	400		
Marktpreis Jahresproduktion pro Anlage	€/a	29.862.847	29.862.847		
zusätzl. Rohmaterial (zus. Dicke)	t	-	-	523	
GWP des Treibmittels		1.430	1.430	1,4	6
Verbrauch Treibmittel (GWP)	tCO2eq/a	242.878	242.878	183	1.176
Minderverbrauch zu REF	tCO2eq/a	0	0	242.695	241.702
Herstell-Emissionsfaktor	%	30%	30%	100%	30%
Herstell-Emissionen (GWP)	tCO2eq/a	72.863	72.863	183	353
Emissionsfaktor Bestand	%	0,66%	0,66%	0%	0,66%
Bestandsemissionen (GWP)	tCO2eq/a	1.122	1.122	0	5
Treibmittel am Lebensende nach 50 J	tCO2eq	113909,9	113909,9	0,0	551,5
Rückgewinnungs am Lebensende nach 50 J	[1]	0,75	0,75	0,75	0,75
Entsorgungsemissionen (GWP)	tCO2eq/a	569,5	569,5	0,0	2,8
Alle Emissionen (GWP)	tCO2eq/a	74.555	74.555	183	361
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2eq/a	0	0	74.372	74.194
Gesamtemissionen Lebenszyklus Jahresproduk	**tCO2eq/a**	**157.446**	**157.446**	**183**	**762**
Emiss-Differenz Lebenszyklus	**tCO2eq/a**	**0**	**0**	**157.263**	**156.684**
Betriebskosten					
Rohmaterial Basispreis ohne Treibmittel	€/t	1.500	1.500	1.500	1.500
Treibmittelkosten					
Treibmittelkosten per kg	€	5,00	5,00	1,00	12,00
Jährliche Kosten des Treibmittels	€/a	849.225	849.225	130.650	2.351.699
Treibmittel-Kostendifferenz zu REF		0	0	-718.575	1.502.474
Kosten für zusätzliche Dicke					
Mehrkosten pro Tonne	€	0	0	300	0
Mehrkosten pro Jahr	€	0,00	0	783.900	0,00
Mehrkosten wg Rohmaterialwechsel		-	-	5%	5%
Mehrkosten pro Jahr		0,00	0	195.975	195.975
Unterschied der Betriebskosten	€/a	0,00	0	261.300	1.698.449
Investitionskosten					
Kapitelinvest für neue Produktlinie	€	0	0	1.500.000	1.500.000
Lebensdauer der Anlage	Jahre	10	10	10	10
Kosten des Technologiewechsels	€			1.000.000	1.000.000
Totale Investitionskosten	€			2.500.000	2.500.000
Diskontsatz	%			4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes				0,1233	0,1233
Diff annualisierte Investkosten	€/a			308.227	308.227
Jährliche Gesamtkosten-Differenz zu RefTech	€/a			569.527	2.006.677
Vermeidungskosten					
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**3,62**	**12,81**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**2,35**	**8,30**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			85	30
AT Verfügbarkeit 2020	%			85	100
AT Verfügbarkeit 2030	%			85	100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			0	30
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			0	100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			0	100
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			0	30
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			0	100
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			0	100
AT Reduktion des Verbrauchs				0,00%	99,58%
AT Reduktion Herstellemissionen				0,0%	99,58%
AT Reduktion Bestandsemiss 2030/2015				0,0%	49,18%
REF Szenario Verbrauch 2030	tCO2eq	1.632	1.632		
REF-Szenario Herstell-Emissionen 2030	tCO2eq	489	489		
REF-Szenario Bestandsemissionen 2030	tCO2eq	61	61		
MIN-Szenario Bestandsemissionen 2030	tCO2eq	31	31		
2030 durchschn. Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**12,81**	
2030 durchschn. Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**8,30**	
E -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	tCO2eq			499	
V-Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	tCO2eq			1.632	
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		551		
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		1.632		
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			0	499
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			0	1.632
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			0	499
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			0	1.632

Technologien und Vermeidu	22	XPS-152a			
		BAU HFKW-152a	REF HFKW-152a	AT KW	AT HFKW-1234ze
Produkt		Dämmplatte 1200 x 600 x 50 mm, Dichte 35			
Gewicht 1 Platte	kg	1,26			
Quadratmeter pro Jahr	m2	2.073.600			
Masse jährlicher XPS-Produktion	t	2.613			
Treibmittel (Gewichtsteile)		10	*10*	5	7
Gesamte Gewichtsteile		90	*90*	95	93
Treibmittel Gewichtsprozent	%	11%	*11%*	5%	7,5%
Treibmittel-Verbrauch pro Jahr	t/a	290	*290*	138	197
Wärmeleitfähigkeit	mW	34	*34*	34	29
Differenz Wärmeleitfähigkeit	%	-	*-*	0,0%	-14,7%
Dichte des Schaums	kg/m3	35	*35*		
Jahresproduktion pro Anlage	m³/a	74650			
Marktpreis /m² (50mm Stärke)	€/m²	20	*20*		
Platten pro m³	1/m	20	*20*		
Marktpreis pro m³	€/m3	400	*400*		
Marktpreis Jahresproduktion pro Anla	€/a	29.859.840	29.859.840		
zusätzl. Rohmaterial (zus. Dicke)	t	-	*-*	0	-384
GWP des Treibmittels		124	*124*	5	6
Verbrauch Treibmittel (GWP)	tCO2eq/a	35.998	*35.998*	688	1.180
Minderverbrauch zu REF	tCO2eq/a	0	*0*	35.310	34.818
Herstell-Emissionsfaktor	%	100%	*1*	100%	30%
Herstell-Emissionen (GWP)	tCO2eq/a	35.998	*35.998*	688	354
Emissionsfaktor Bestand	%	0%	*0%*	0%	0,66%
Bestandsemissionen (GWP)	tCO2eq/a	0	*0*	0	5
Treibmittel am Lebensende nach 50 J	tCO2eq	0,0	0,0	0,0	553,4
Rückgewinnungs am Lebensende nac	[1]	*0,75*	*0,75*	*0,75*	*0,75*
Entsorgungsemissionen (GWP)	tCO2eq/a	0	0	0	3
Alle Emissionen (GWP)	tCO2eq/a	35.998	*35.998*	688	359
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2eq/a	0	*0*	35.310	35.638
Gesamtemissionen Lebenszyklus Jah	**tCO2eq/a**	**35.998**	**35.998**	**688**	**765**
Emiss-Differenz Lebenszyklus	**tCO2eq/a**	**0**	***0***	**35.310**	**35.233**
Betriebskosten					
Rohmaterial Basispreis ohne Treibmitt	€/t	1.500	*1.500*	1.500	1.500
Treibmittelkosten					
Treibmittelkosten per kg	€	2,20	*2*	1,50	12,00
Jährliche Kosten des Treibmittels	€/a	638.669	*638.669*	206.269	2.359.891
Treibmittel-Kostendifferenz zu REF		0	*0*	-432.400	1.721.222
Kosten für zusätzliche Dicke					
Mehrkosten pro Tonne	€	0	*0*	0	-221
Mehrkosten pro Jahr	€	0,00	*0*	0	-576.339
Mehrkosten wg Rohmaterialwechsel		-	*-*	5%	10%
Mehrkosten pro Jahr		0,00	*0*	195.955	391.910
Unterschied der Betriebskosten	€/a	0,00	*0*	-236.445	1.536.793
Investitionskosten					
Kapitelinvest für neue Produktlinie	€	-	*0*	1.500.000	1.500.000
Lebensdauer der Anlage	Jahre	10	*10*	10	10
Kosten des Technologiewechsels				80.000	80.000
- Modifizierung des Designs	€			*30.000*	*30.000*
- Rohmaterial Tests Minimum	€			*40.000*	*40.000*
- Rohmaterial Tests MINimum	€			*60.000*	*60.000*
Totale Investitionskosten	€			1.580.000	1.580.000
Diskontsatz	%			4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes				0,1233	0,1233
Diff annualisierte Investkosten	€/a			194.800	194.800
Jährliche Gesamtkosten-Differenz zu	€/a			-41.645	1.731.593
Vermeidungskosten					
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**-1,18**	**49,15**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**-1,18**	**49,73**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			95	30
AT Verfügbarkeit 2020	%			95	100
AT Verfügbarkeit 2030	%			95	100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			0	30
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			0	100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			0	100
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			0	30
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			0	100
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			0	100
AT Reduktion des Verbrauchs					95,16%
AT Reduktion Herstellemissionen					95,16%
AT Reduktion Bestandsemiss 2030/2015					
REF Szenario Verbrauch 2030	tCO2eq	29,8	*29,8*		
REF-Szenario Herstell-Emissionen 20	tCO2eq	29,8	*29,8*		
REF-Szenario Bestandsemissionen 20	tCO2eq			29,8	
MIN-Szenario Bestandsemissionen 20	*tCO2eq*			29,8	
2030 durchschn. Vermeidungskosten E	€/tCO2eq			**49,15**	
2030 durchschn. Vermeidungskosten V	€/tCO2eq			**49,73**	
E -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	tCO2eq			29,8	
V-Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	tCO2eq			29,8	
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		30		
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		30		
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szen	ktCO2eq			0	30
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN	ktCO2eq			0	30
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			0	30
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szen	ktCO2eq			0	30

Technologien und Vermeidun	23	PU Spritzschaum			
		BAU HFKW-	RefTech HFKW-	AT H2O	AT HFKW-1234zd
Produkt		Spritzschaum 100 x100 x 8 cm, Dichte 60			
Gewicht 1 Quadratmeter	kg	4,8			
Quadratmeter pro Jahr	m2	20.833			
Masse jährlicher Schaum-Produktion	t	100			
Treibmittel (Gewichtsteile)		15	*15*	0	15
Gesamte Gewichtsteile		245	*245*	230	245
Treibmittel Gewichtsprozent	%	6,1%	*6,1%*	0%	6,1%
Treibmittel-Verbrauch pro Jahr	t/a	6,1	*6,1*	0	6,1
Wärmeleitfähigkeit	mW	30	*30*	35	30
Zuwachs Wärmeleitfähigkeit	%	-	-	16,7%	0,0%
Dichte des Schaums	kg/m3	60	*60*	75	*60*
Zuwachs Material wegen Dichte	%			25%	
Jahresproduktion pro Anlage	m³/a	1667			
Marktpreis /m² (80mm Stärke)	€/m²	60	*60*		
Platten pro m³	1/m	12,5	*20*		
Marktpreis pro m³	€/m3	750	*1.200*		
Marktpreis Jahresproduktion pro Anlage	€/a	1.249.980	1.249.980		
zusätzl. Rohmaterial (zus. Dicke)	t	-	-	42	0
GWP des Treibmittels		963,820	*964*	0	6
Verbrauch Treibmittel (GWP)	tCO2eq/a	5.901	*5.901*	0	37
Minderverbrauch zu REF	tCO2eq/a	0	*0*	5.901	5.864
Herstell-Emissionsfaktor	%	15%	*15%*	100%	15%
Herstell-Emissionen (GWP)	tCO2eq/a	885	*885*	0	6
Emissionsfaktor Bestand	%	1,0%	*1%*	0%	1,0%
Bestandsemissionen (GWP)	tCO2eq/a	50,2	*50*	0	0,3
Treibmittel am Lebensende nach 50 J	tCO2eq	2507,9	2507,9	0,0	15,6
Rückgewinnungs am Lebensende nach 5	[1]	0,75	0,75	0,75	0,75
Entsorgungsemissionen (GWP)	tCO2eq/a	12,5	12,5	0,0	0,1
Alle Emissionen (GWP)	tCO2eq/a	948	*948*	0	5,90
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2eq/a	0	*0*	948	942
Gesamtemissionen Lebenszyklus Jahre	**tCO2eq/a**	**4.020**	**4.020**	**0**	**25**
Emiss-Differenz Lebenszyklus	**tCO2eq/a**	**0**	***0***	**4.020**	**3.995**
Betriebskosten					
Rohmaterial Basispreis ohne Treibmittel	€/t	2.500	*2.500*	2.500	2.500
Treibmittelkosten					
Treibmittelkosten per kg	€	5,00	*5*	0,00	12,00
Jährliche Kosten des Treibmittels	€/a	30.612	*30.612*	0	73.468
Treibmittel-Kostendifferenz zu REF		0	*0*	-30.612	42.856
Kosten für zusätzliche Dicke/Dichte					
Mehrkosten pro Tonne	€	0	*0*	1.042	0
Mehrkosten pro Jahr	€	0,00	*0*	104.165	0
Mehrkosten wg Rohmaterialwechsel		-	-	15%	10%
Mehrkosten pro Jahr		0,00	*0*	37.499	25.000
Unterschied der Betriebskosten	€/a	0,00	*0*	111.053	67.856
Investitionskosten			*0*		
Kapitelinvest für neue Anlage	€	-	*0*	7.500	7.500
Lebensdauer der Anlage	Jahre	10	*10*	10	10
Kosten des Technologiewechsels				15.000	15.000
- Modifizierung des Designs	€			*0*	*0*
- Rohmaterial Tests Minimum	€			*5.000*	*5.000*
- Rohmaterial Tests MINimum	€			*10.000*	*10.000*
Totale Investitionskosten	€			22.500	22.500
Diskontsatz	%			4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes				0,1233	0,1233
Diff annualisierte Investkosten	€/a			2.774	2.774
Jährliche Gesamtkosten-Differenz zu Re	€/a			113.827	70.630
Vermeidungskosten					
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**28,32**	**17,68**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**19,29**	**12,04**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			95	50
AT Verfügbarkeit 2020	%			95	100
AT Verfügbarkeit 2030	%			95	100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			0	50
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			0	100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			0	100
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			0	50
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			0	100
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			0	100
AT Reduktion des Verbrauchs 2030				0,0%	99,4%
AT Reduktion Herstellemissionen 2030				0,0%	99,4%
AT Reduktion Bestandsemiss 2030/2015				0,0%	58,1%
REF Szenario Verbrauch 2030	tCO2eq	259	*259*		
REF-Szenario Herstell-Emissionen 2030	tCO2eq	48	*48*		
REF-Szenario Bestandsemissionen 2030	tCO2eq	60	*60*		
MIN-Szenario Bestandsemissionen 2030	*tCO2eq*	25	*25*		
2030 durchschn. Vermeidungskosten Em	€/tCO2eq			**17,68**	
2030 durchschn. Vermeidungskosten Ver	€/tCO2eq			**12,04**	
E -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			66	
V-Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	ktCO2eq			259	
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		109		
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		259		
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenari	ktCO2eq			0	66
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-S	ktCO2eq			0	259
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			0	66
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenari	ktCO2eq			0	259

Technologien und Vermeidun	24	Sonstiger PU-Schaum (Blockschaum)			
		BAU HFKW-365mfc/245fa	RefTech HFKW-365mfc/245fa	AT KW (Pentan)	AT HFKW-1234zd
Produkt		Blockschaum 1 m3, Dichte 60			
Gewicht 1 m3	kg	60			
Kubikmeter pro Jahr	m3	9.217			
Masse jährlicher Schaum-Produktion	t	553			
Treibmittel (Gewichtsteile)		12	12	7	14
Gesamte Gewichtsteile		242	242	237	244
Treibmittel Gewichtsprozent	%	5%	5,0%	3%	6%
Treibmittel-Verbrauch pro Jahr	t/a	27	27	16	32
Wärmeleitfähigkeit	mW	22	22	23	22
Zuwachs Wärmeleitfähigkeit	%	-	-	4,5%	0,0%
Dichte des Schaums	kg/m3	60	60		
Jahresproduktion pro Anlage	m³/a	9217			
Marktpreis pro m³	€/m3	400	0		
Marktpreis Jahresproduktion pro Anlage	€/a	3.686.800	3.686.800		
zusätzl. Rohmaterial (zus. Dicke)	t	-	-	25	0
GWP des Treibmittels		964	964	5	6
Verbrauch Treibmittel (GWP)	tCO2eq/a	26.430	26.430	82	190
Minderverbrauch zu REF	tCO2eq/a	0	0	26.349	26.240
Herstell-Emissionsfaktor	%	15,0%	15,0%	100%	15,0%
Herstell-Emissionen (GWP)	tCO2eq/a	3.965	3.965	82	29
Emissionsfaktor Bestand	%	1,00%	0	0%	1,00%
Bestandsemissionen (GWP)	tCO2eq/a	225	225	0	2
Treibmittel am Lebensende nach 50 J	tCO2eq	11232,9	11232,9	0,0	80,9
Rückgewinnungs am Lebensende nach 5	[1]	0,75	0,75	0,75	0,75
Entsorgungsemissionen (GWP)	tCO2eq/a	56,2	56,2	0,0	0,4
Alle Emissionen (GWP)	tCO2eq/a	4.245	4.245	82	31
Emiss-Differenz zu RefTech	tCO2eq/a	0	0	4.164	4.215
Gesamtemissionen Lebenszyklus Jahre	**tCO2eq/a**	**18.006**	**18.006**	**82**	**130**
Emiss-Differenz Lebenszyklus	**tCO2eq/a**	**0**	**0**	**17.924**	**17.876**
Betriebskosten					
Rohmaterial Basispreis ohne Treibmittel	€/t	2.500	2.500	2.500	2.500
Treibmittelkosten					
Treibmittelkosten per kg	€	5,00	5	0,80	12,00
Jährliche Kosten des Treibmittels	€/a	137.112	137.112	13.067	380.768
Treibmittel-Kostendifferenz zu REF		0	0	-124.045	243.655
Kosten für zusätzliche Dicke					
Mehrkosten pro Tonne	€	0	0	114	0
Mehrkosten pro Jahr	€	0,00	0	62.843	0
Mehrkosten wg Rohmaterialwechsel		-	-	0%	10%
Mehrkosten pro Jahr		0,00	0	0	138.255
Unterschied der Betriebskosten	€/a	0,00	0	-61.202	381.910
Investitionskosten					
Kapitelinvest für neue Produktlinie	€	-	0	400.000	400.000
Lebensdauer der Anlage	Jahre	15	15	15	15
Kosten des Technologiewechsels				80.000	80.000
- Modifizierung des Designs	€			30.000	30.000
- Rohmaterial Tests Minimum	€			40.000	40.000
- Rohmaterial Tests MINimum	€			60.000	60.000
Totale Investitionskosten	€			480.000	480.000
Diskontsatz	%			4%	4%
Annuitätsfaktor des Diskontsatzes				0,0899	0,0899
Diff annualisierte Investkosten	€/a			43.172	43.172
Jährliche Gesamtkosten-Differenz zu Re	€/a			-18.030	425.082
Vermeidungskosten					
Vermeidungskosten Emissionen	€/tCO2eq			**-1,01**	**23,78**
Vermeidungskosten Verbrauch	€/tCO2eq			**-0,68**	**16,20**
AT-Verfügbarkeit 2015	%			95	30
AT Verfügbarkeit 2020	%			95	100
AT Verfügbarkeit 2030	%			95	100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2015	%			0	30
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2020	%			0	100
Anteil im FULL-MIN-Szenario 2030	%			0	100
Anteil im MIN-Szenario 2015	%			0	30
Anteil im MIN-Szenario 2020	%			0	100
Anteil im MIN-Szenario 2030	%			0	100
AT Reduktion des Verbrauchs				0%	99,4%
AT Reduktion Herstellemissionen				0%	99,4%
AT Reduktion Bestandsemiss 2030/2015				0,0%	57,9%
REF Szenario Verbrauch 2030	tCO2eq	65	65		
REF-Szenario Herstell-Emissionen 2030	tCO2eq	12	12		
REF-Szenario Bestandsemissionen 2030	tCO2eq	15	15		
MIN-Szenario Bestandsemissionen 2030	tCO2eq	6	6		
2030 durchschn. Vermeidungskosten Em	€/tCO2eq			**23,78**	
2030 durchschn. Vermeidungskosten Ver	€/tCO2eq			**16,20**	
E -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	tCO2eq			15	
V-Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenario	tCO2eq			65	
EM 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		27		
Verbrauch 2030 REF-Szenario	ktCO2eq		65		
EM -Reduktion 2030 FULL-MIN-Szenari	ktCO2eq			0	15
Verbrauchsreduktion 2030 FULL-MIN-S	ktCO2eq			0	65
EM -Reduktion 2030 MIN-Szenario	ktCO2eq			0	15
Verbrauchsreduktion 2030 MIN-Szenari	ktCO2eq			0	65

7.2 Modellbeschreibung EmIO Deutschland

EmIO (Employment Input Output Model) ist ein statisches Input-Output Modell für Deutschland bzw. die europäische Union, mit dem direkte und indirekte Produktions- und Beschäftigungseffekte von energie- und klimapolitischen Maßnahmen analysiert werden. Dabei können drei Effekte unterschieden werden:

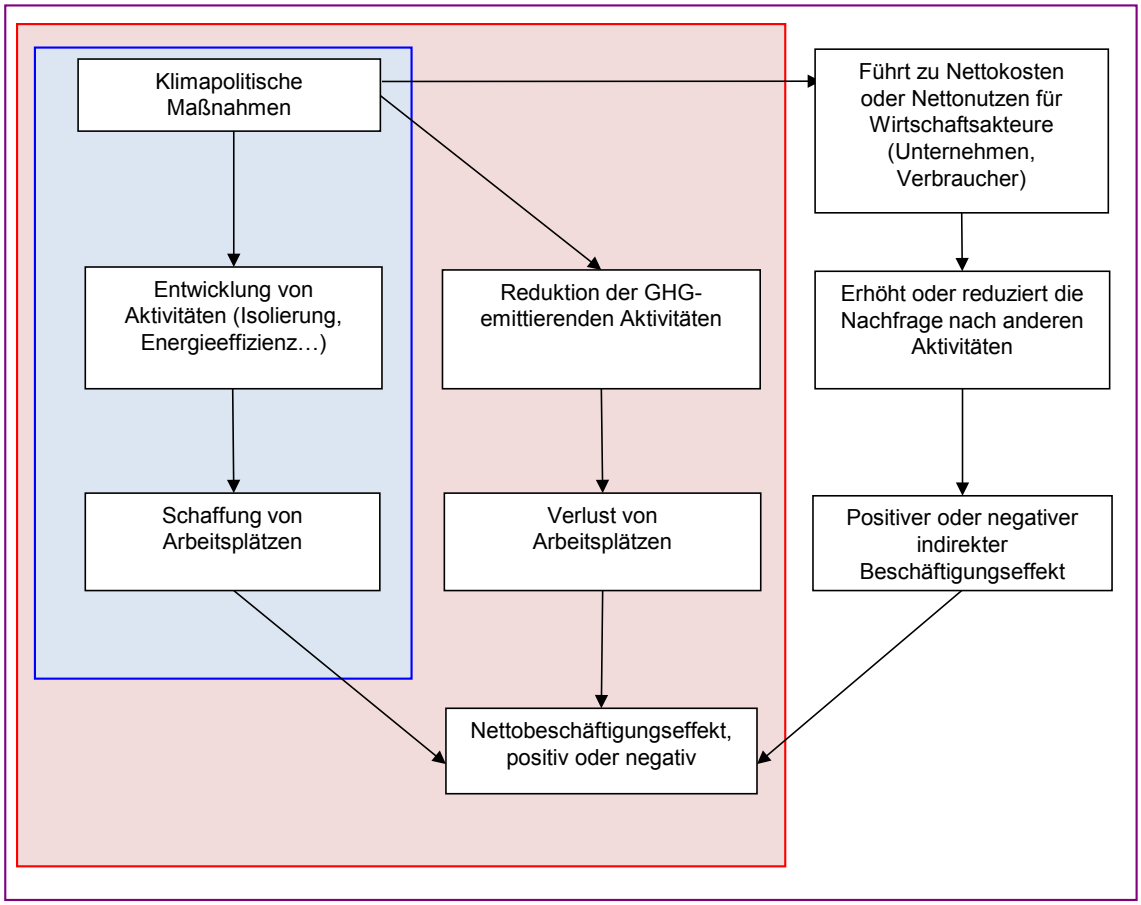
a) direkte Produktions- und Beschäftigungseffekte, die durch Investitionen oder Produktionsaktivitäten in bestimmten Sektoren ausgelöst werden,

b) indirekte Produktions- und Beschäftigungseffekte, die in vorgelagerten Produktionsstufen durch diese erhöhten Investitions- oder Produktionsaktivitäten induziert werden,

c) Produktions- und Beschäftigungseffekte aufgrund von Veränderungen in der Nachfrage (Menge und Struktur), die dadurch entstehen, dass Investitionen gegenfinanziert werden müssen bzw. höhere Erlöse geschaffen werden, die an Stakeholder weitergegeben werden.

Diese Mechanismen werden am Beispiel der Beschäftigungseffekte in Abbildung 45 veranschaulicht.

Abbildung 45 Ökonomische Mechanismen für Beschäftigungseffekte



Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Quirion und Demailly (2008)

Grundlage für das EmIO-Modell bildet die Struktur der Input-Output Tabellen des statistischen Bundesamtes bzw. von EUROSTAT in der jeweils aktuellen Fassung. Die Input-Output Tabellen enthalten detaillierte Informationen über die Handelsverflechtungen der ökonomischen Sektoren. Die Handels-verflechtungen geben Auskunft darüber, wie viel Material von jedem Sektor in alle anderen Sektoren fließt, bzw. wie viele Güter ein Sektor aufgrund von Vorleistungsverflechtungen von den jeweiligen anderen Sektoren nachfragt.

Neben den Input-Output Tabellen stellen die statistischen Ämter im Rahmen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) Informationen darüber bereit, wie viele Erwerbstätige in den jeweiligen Sektoren beschäftigt sind. Dies ermöglicht die Berechnung, sogenannter Erwerbstätigkeitskoeffizienten, die Auskunft darüber geben, wie viele Beschäftige für die Erstellung einer Produktionseinheit im jeweiligen Sektor benötigt werden. Kombiniert man die Beschäftigungskoeffizienten mit den Informationen der Input-Output-Tabellen, lassen sich aus den berechneten Produktionseffekten die entsprechenden Auswirkungen auf die Beschäftigung in den einzelnen Sektoren ableiten.

Würde nun z.B. aufgrund einer klimapolitischen Fördermaßnahmen die Nachfrage bzw. Investitionstätigkeit in einem bestimmten Sektor ansteigen und folglich die Produktion in diesem Sektor erhöhen, würde dies gemäß der Vorleistungsverflechtungen der Volkswirtschaft bedingen, dass dieser Sektor seine Nachfrage nach Vorleistungen erhöht und somit auch in anderen Branchen Produktions- und Beschäftigungseffekte ausgelöst werden.

In einem letzten Schritt berechnet das EmIO-Modell die auf der Nachfrageseite hervorgerufenen Änderungen, die durch zusätzliche Investitionen oder Erlöse ausgelöst werden und wiederum Auswirkungen auf die Produktion und Beschäftigung in einzelnen Sektoren haben.

EmIO wurde beispielsweise im Rahmen der Evaluierung der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) zur Ermittlung der Beschäftigungseffekte von Projekten und Programmen der NKI oder im Rahmen des Impact Assessment der europäischen Kommission für die F-Gas Verordnung eingesetzt.

7.3 Energiesteuergesetz im Verbrauchssteuersystem

Für die Energiesteuer als Verbrauchsteuer[107] gelten die nationalen Regelungen zur Umsetzung der EU Richtlinie 2008/118/EG über das allgemeine Verbrauchsteuersystem (Systemrichtlinie)[108]. Danach werden verbrauchsteuerpflichtige Waren grundsätzlich mit ihrer Herstellung innerhalb der EU oder mit ihrer Einfuhr in die EU verbrauchsteuerpflichtig.[109]

Gleichwohl ist nicht unmittelbar der Hersteller oder Importeur bei der Herstellung oder beim Import im Herstellungs- bzw. Importland verbrauchsteuerpflichtig.

---

[107] Vgl. die Legaldefinition in § 1 Abs. 1 Satz 3 EnergieStG und Art. 1 Abs. 1 Buchst. a) Systemrichtlinie 2008/118/EG.

[108] Die nationale Umsetzung der notwendigen Rechtsgrundlagen aufgrund der Richtlinie 2008/118/EG ist in Deutschland mit dem Vierten Gesetz zur Änderung von Verbrauchsteuergesetzen sowie der Fünften Verordnung zur Änderung von Verbrauchsteuerverordnungen im Jahr 2009 erfolgt.

[109] Art. 2 Systemrichtlinie 2008/118/EG.

Vielmehr schließt sich an Herstellung und Import regelmäßig zunächst eine sogenannte Steueraussetzung[110] an, während der sich die verbrauchsteuerpflichtige Ware in einem sogenannten Steuerlager befindet. Ein Steuerlager ist jeder Ort, an dem verbrauchsteuerpflichtige Waren im Rahmen eines Verfahrens der Steueraussetzung hergestellt, verarbeitet, gelagert, empfangen oder versandt werden.[111] Typische Steuerlager sind damit Herstellungsanlagen und Warenlager.

Der Verbrauchsteueranspruch entsteht dann erst zum Zeitpunkt und am Ort der Überführung in den sogenannten steuerrechtlich freien Verkehr.[112] Das ist regelmäßig die Entnahme der Ware aus dem Steuerlager.[113] Wenn kein Steueraussetzungsverfahren stattfindet, entsteht die Steuer bei Besitz, Herstellung oder Einfuhr.[114]

Steuerschuldner ist regelmäßig der Inhaber des Steuerlagers, aber auch der registrierte Empfänger oder, wenn keine Steueraussetzung stattfindet, der Besitzer, Hersteller oder Importeur.[115] Weitere Randbedingungen für die Entstehung der Verbrauchsteuern richten sich nach den mitgliedstaatlichen Regelungen.[116] Für die Beförderung verbrauchsteuerpflichtiger Waren unter Steueraussetzung, also vor der Überführung in den steuerrechtlich freien Verkehr, ist eine Dokumentation nach Maßgabe des EMCS erforderlich.[117]

Für Energieerzeugnisse sind diese Regelungen in der EU-Energiesteuerrichtlinie 2003/96/EG und im nationalen Energiesteuergesetz wie folgt umgesetzt:

Energieerzeugnisse im Sinne des Gesetzes sind durch Verweis auf die Kombinierte Nomenklatur des EU-Zoll- und Außenhandelsrechts näher bestimmte Warengruppen, insbesondere mineralische Brennstoffe sowie bestimmte tierische und pflanzliche Öle und chemische Erzeugnisse.[118]

Die Regelungen des Energiesteuergesetzes gliedern sich in Allgemeine Bestimmungen (Kapitel 1 und 5 EnergieStG), Bestimmungen für Energieerzeugnisse außer Kohle und Erdgas (Kapitel 2 EnergieStG) sowie jeweils besondere Bestimmungen für Kohle (Kapitel 3 EnergieStG) und Erdgas (Kapitel 4 EnergieStG). Diese Unterscheidung beruht darauf, dass das Steueraussetzungsverfahren nach den Vorgaben der Systemrichtlinie für Kohle und Erdgas nicht gilt.[119]

Für die Energieträger Mineralöl, Flüssiggas, Kohle und Erdgas gelten im Einzelnen folgende Regelungen. Dabei bieten die Mineralöle und Flüssiggase den besten direkten Vergleich zu der HFKW-Bulkware:

---

110 Vgl. die Begriffsbestimmung in Art. 4 Nr. 7 Systemrichtlinie 2008/118/EG.
111 Vgl. die Begriffsbestimmung in Art. 4 Nr. 11 Systemrichtlinie 2008/118/EG.
112 Art. 7 Abs. 1 Systemrichtlinie 2008/118/EG.
113 Art. 7 Abs. 2 Buchst. a) Systemrichtlinie 2008/118/EG.
114 Art. 7 Abs. 1 Buchst. b) bis d) Systemrichtlinie 2008/118/EG.
115 Art. 8 Systemrichtlinie 2008/118/EG.
116 Art. 9 Systemrichtlinie 2008/118/EG.
117 Erwägungsgrund 21 und Art. 21 der Systemrichtlinie 2008/118/EG in Verbindung mit der Entscheidung Nr. 1152/2003/EG.
118 § 1 Abs. 2 und 3, § 1 a EnergieStG sowie Art. 2 der Richtlinie 2003/96/EG, jeweils in Verbindung mit Anhang I der Verordnung (EWG) Nr. 2658/87 über die zolltarifliche und statistische Nomenklatur und den Gemeinsamen Zolltarif).
119 Art. 20 Abs. 1 Richtlinie 2003/96/EG, vgl. die Gesetzesbegründung des Energiesteuergesetzes 2003, BT-Drs. 16/1172, S. 40 und 41.

- Für Mineralöl und Flüssiggas sowie weitere Energieerzeugnisse nach § 4 EnergieStG gelten die Bestimmungen des Kapitels 2 für Energieerzeugnisse außer Kohle und Erdgas, durch die die Regelungen der Systemrichtlinie umgesetzt werden.

Nach den Vorgaben der Verbrauchsteuer-Systemrichtlinie entsteht die Steuer bei einer Entnahme in den steuerrechtlich freien Verkehr. Dazu gehören die Entfernung aus dem Steuerlager, ohne dass sich ein weiteres Steueraussetzungsverfahren anschließt, sowie die Entnahme zum Ge- oder Verbrauch innerhalb des Steuerlagers.[120] Steuerschuldner ist der Steuerlagerinhaber.[121]

Steuerlager für Energieerzeugnisse sind Herstellungsbetriebe und Lager für Energieerzeugnisse.[122] Um ein Steuerlager betreiben zu dürfen, muss eine Erlaubnis des Hauptzollamtes eingeholt werden.[123]

Ein Lager für Energieerzeugnisse muss einem der folgenden Zwecke dienen: Großhandel, Großhandelsvertrieb eines Herstellers, Mischen von Energieerzeugnissen, Versorgung von Verwendern mit steuerfreien Energieerzeugnissen oder der Abgabe bestimmter Flüssiggase oder Gasöle dienen.[124]

Händler und Hersteller können in einem Steuerlager zeitlich unbegrenzt der Steuer unterliegende Energieerzeugnisse lagern. Erst bei der Entnahme werden die Energieerzeugnisse gemäß EnergieStG besteuert, sofern keine Steuerbefreiung vorgesehen ist. Außerdem entsteht die Steuer im Moment des Verbrauches innerhalb des Steuerlagers.

- Für Kohle gilt das Steueraussetzungsverfahren nicht. Dennoch entsteht die Steuer – ähnlich wie beim Steueraussetzungsverfahren – erst dann, wenn Kohle erstmals an Personen geliefert wird, denen keine besondere Erlaubnis zum unversteuerten Bezug oder zur unversteuerten Verwendung von Kohle erteilt worden ist oder wenn Kohle vom Erlaubnisinhaber oder sonst selbst gewonnene oder bearbeitete Kohle verwendet wird.[125] Eine Erlaubnis benötigt jeder, der als Inhaber eines Kohlebetriebes oder als Kohlelieferer Kohle unversteuert beziehen will.[126] Kohlebetriebe sind Betriebe, in denen Kohle gewonnen oder bearbeitet wird.[127]

Steuerschuldner ist in der Regel der Kohlelieferant, bei Verwendung unversteuerter Kohle der Verwender.[128]

- Bei Erdgas gilt das Steueraussetzungsverfahren ebenfalls nicht. Dennoch entsteht die Steuer auch hier erst dann, wenn geliefertes oder selbst erzeugtes Erdgas aus dem Leitungsnetz entnommen wird.[129] Gasgewinnungsbetriebe und Gaslager gelten als dem Leitungsnetz zugehörig, wobei der dortige Verbrauch als Entnahme gilt.[130]

Steuerschuldner ist der Lieferer, wenn er im Steuergebiet ansässig ist und das gelieferte Erdgas nicht durch einen anderen Lieferer entnommen wird, andernfalls derjenige, der das Erdgas aus dem Leitungsnetz entnimmt.[131] Anders als bei anderen Energieerzeugnissen bedarf der Lieferer als Steuerschuldner keiner besonderen Erlaubnis; er muss eine Lieferung und den Eigenverbrauch aber vorher beim Hauptzollamt

120 § 8 Absatz 1 EnergieStG.
121 § 8 Absatz 2 EnergieStG.
122 § 5 Absatz 2 in Verbindung mit §§ 6 und 7 EnergieStG.
123§123 § 5 Absatz 3 EnergieStG, § 12 Abs. 2 Finanzverwaltungsgesetz (FVG).
124 § 7 Abs. 1 i.V.m. § 2 Abs. 1 Nr. 8 Buchstabe a, Abs. 2 Nr. 2 oder Abs. 3 EnergieStG.
125 § 32 Absatz 1 EnergieStG.
126 § 31 Absatz 4 EnergieStG.
127 § 31 Absatz 1 EnergieStG
128 § 32 Absatz 2 EnergieStG.
129 § 38 Absatz 1 Satz 1 EnergieStG.
130 § 38 Absatz 1 Satz 2 EnergieStG.
131 § 38 Absatz 2 EnergieStG.

anmelden.[132] Außerdem kann er beantragen, dass er nicht als Lieferer gilt; bei entsprechender Zulassung gilt das an ihn gelieferte Erdgas als aus dem Leitungsnetz entnommen.[133]

Für alle Energieerzeugnisse müssen die Steuerschuldner für jeden Monat, in dem die Steuer entstanden ist, eine Steuererklärung abgeben und die Steuer darin selbst berechnen.[134]

Hinsichtlich der Bestimmung des Steuerschuldners zeichnet sich das Energiesteuerrecht dadurch aus, dass es durch die vorgesehenen Erlaubnis- bzw. Zulassungsverfahren den Akteuren auf den jeweiligen Vertriebsstufen die Wahl lässt, ob sie eine Erlaubnis zur steuerfreien Verwendung von Energieerzeugnissen beantragen und damit selbst steuerpflichtig werden oder ob sie darauf verzichten wollen und dann nur vom jeweiligen Lieferanten bereits versteuerte Energieerzeugnisse beziehen können.[135]

132 § 38 Absatz 3 EnergieStG.
133 § 38 Absatz 4 EnergieStG.
134 § 8 Absatz 3, § 33 Absatz 1, § 39 Abs. 1 EnergieStG.
135 Vgl. zum entsprechenden Wahlrecht bei Kohle und zur Möglichkeit, die Steuer dort erst auf der letzten Handelsstufe entstehen zu lassen, die Gesetzesbegründung zu §§ 31 und 32 EnergieStG in BT-Drs. 16/1172, S. 40.