Projektionen zu den Emissionen von HFKW, FKW und SF_6 für Deutschland bis zum Jahr 2050

Umwelt Bundes Amt
Für Mensch und Umwelt

| CLIMATE CHANGE | 21/2011

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3708 42 311
UBA-FB 001566

Projektionen zu den Emissionen von HFKW, FKW und SF_6 für Deutschland bis zum Jahr 2050

von

Barbara Gschrey
Winfried Schwarz
Öko-Recherche, Frankfurt am Main

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
http://www.uba.de/uba-info-medien/4226.html
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4359

Durchführung der Studie:	Öko-Recherche – Büro für Umweltforschung und –beratung GmbH Münchener Straße 23 60329 Frankfurt am Main
Abschlussdatum:	Juni 2010
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: info@umweltbundesamt.de Internet: http://www.umweltbundesamt.de http://fuer-mensch-und-umwelt.de/
Redaktion:	Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen Dr. Cornelia Elsner

Dessau-Roßlau, Dezember 2011

Vorwort des Herausgebers

Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, den Ausstoß aller vom Kyoto Protokoll erfassten Treibhausgase bis 2020 um 40 Prozent gegenüber dem Jahr 1990 zu reduzieren. Zu diesen Treibhausgasen gehören auch die fluorierten Treibhausgase, die bis zu 24 000 mal schädlicher sind als Kohlendioxid. Weltweit wird sich der Anteil der fluorierten Treibhausgase (F-Gase) an den Gesamtemissionen von heute knapp 2% auf etwa 6% bis zum Jahr 2050 erhöhen, wie aus einer Studie des Umweltbundesamtes hervor geht, die unter dem Link: http://www.umweltbundesamt.de/ uba-info-medien/3866.html veröffentlicht ist.

In Deutschland sind die jetzigen und zukünftigen Emissionen eng mit den bisher geleisteten technischen und gesetzgeberischen Fortschritten verbunden. Die globalen Entwicklungen sind daher nicht auf Deutschland übertragbar. In Deutschland sind verschiedene Tendenzen bei den Emissionen der F-Gase zu verzeichnen. So führte die Verordnung (EG) 842/2006 bereits während ihrer Erarbeitung zu einem deutlich verminderten Einsatz von F-Gasen bei der Produktion von Montageschaumdosen. Gießereien substituierten in den letzten Jahren vielfach das Gas Schwefelhexafluorid durch weniger klimabelastende Stoffe. Ein steigender Einsatz an fluorierten Treibhausgasen ist dagegen in der Kälteerzeugung zu verzeichnen. Die dadurch wachsenden Emissionen heben die Emissionsminderungen in anderen Bereichen auf. Die Verordnung(EG) 842/2006 sowie die Chemikalien-Klimaschutzverordnungen (ChemKlimaschutzV) schreiben für diesen Anwendungsbereich u.a. verstärkte Dichtheitskontrollen zur Minderung der Emissionen vor.

Im Mit-Maßnahmen-Szenario wird gezeigt, dass die vollständige Umsetzung der gesetzlichen Regelungen mittelfristig die Emissionen senken kann. Aufgrund des stetig wachsenden Anlagenbestandes besteht aber das Risiko, dass die Emissionen der F-Gase wieder steigen. In dem Szenario wird eine vollständige Umsetzung für alle geregelten Anlagen angenommen, obwohl bisher verlässliche Daten über die Umsetzung der Verordnung (EG) 842/2006 sowie der ChemKlimaschutzV fehlen.

Im Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario wird von einem weitgehenden Verzicht auf fluorierte Treibhausgase ausgegangen, ohne dass dadurch andere klimarelevante Emissionen entstehen. Dieses Szenario soll das maximal mögliche Ergebnis für den Klimaschutz über die Zeitschiene bis zum Jahr 2050 darstellen.

Die folgenden Projektionen sollen die Grundlage für die weiteren Maßnahmendiskussionen im Rahmen der Politikszenarien VI sowie des Integrierten Energie- und Klimaschutzpakets der Bundesregierung bilden.

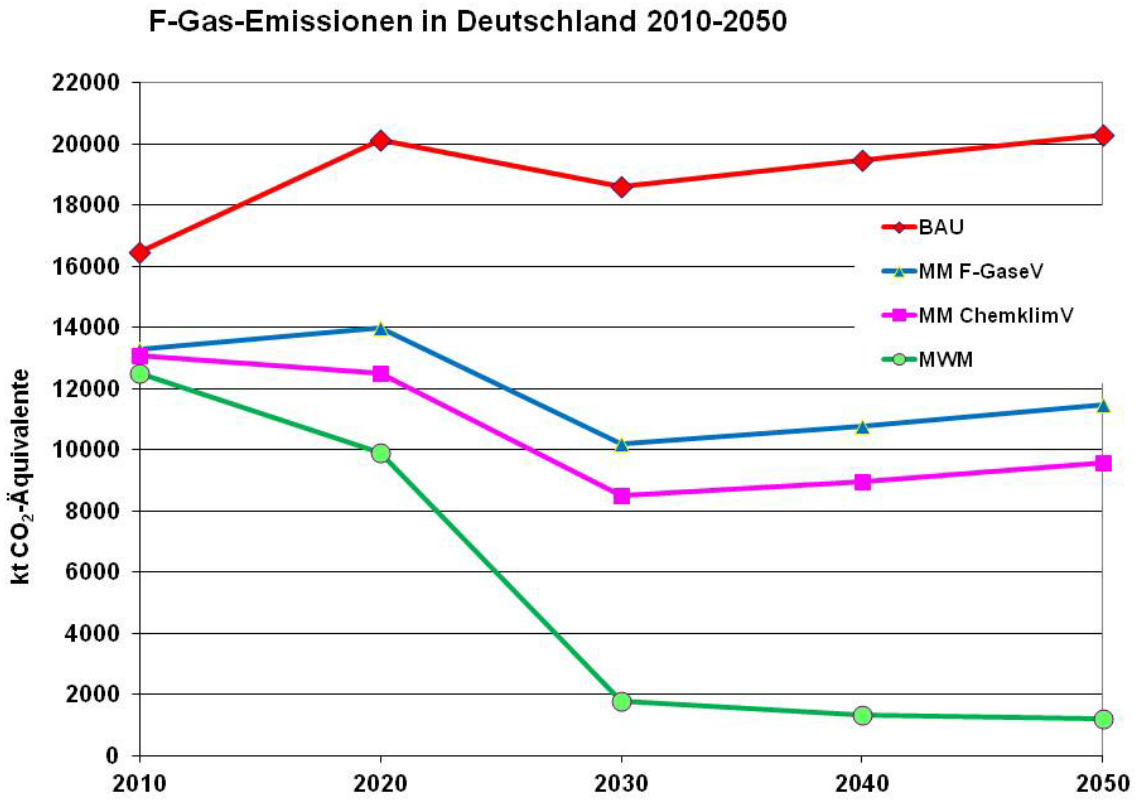
Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass mit einem abgestimmten Maßnahmenkatalog die Verwendung und Emissionen von fluorierten Treibhausgasen deutlich reduziert werden können. Es besteht daher die Aufgabe, diese Erkenntnisse zukünftig international allen Akteuren zur Verfügung zu stellen.

Zusammenfassung

Die Studie über Projektionen fluorierter Treibhausgase für den Zeitraum bis 2050 ist in zwei Teile gegliedert: Im vorliegenden Bericht werden Projektionen für Emissionen fluorierter Treibhausgase (HFKWs, FKWs, SF_6) in Deutschland für den Zeitraum bis 2050 nach Sektoren und Gasen dargestellt. Ein zweiter Bericht befasst sich mit Projektionen der globalen Emissionen von F-Gasen im gleichen Zeitraum.

Die für Deutschland beschriebenen Szenarien umfassen ein Business-as-usual-Szenario (BAU), ein Szenario „mit Maßnahmen“ (MM), welches in einer Variante die Maßnahmen der EU F-Gase-Verordnung 842/2006 berücksichtigt und in einer anderen Variante die Maßnahmen der Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung, sowie ein Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ (MWM).

Die unten stehende Grafik fasst die Projektionen gemäß den verschiedenen Szenarien zusammen. Im BAU-Szenario werden Emissions-Peaks bei ca. 20 MT CO_2 eq. um 2020 und 2050 erreicht. Die beiden Varianten des MM-Szenarios, die aktuelle politische Maßnahmen zu Grunde legen, zeigen gegenüber dem BAU-Szenario. Potentiale für Emissionseinsparungen um ca. 50%. Im Szenario mit weiteren Maßnahmen (MWM) sinken die F-Gas Emissionen ab 2020 stark und stagnieren ab 2030 auf niedrigem Niveau bei 1,2 MT CO_2 eq. bis zur endgültigen Entsorgung von Altanlagen.



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 6

2. Methodologie 7

2.1 Basisdaten und Szenarien 7
2.2 Grundlegende Annahmen 10
2.3 Annahmen zu Emissionen und Emissionsraten 11

3. Emissionen fluorierter Treibhausgase im Basisjahr 2008 in Deutschland 13

4. Projektionen der Emissionen fluorierter Treibhausgase pro Anwendungssektor in Deutschland für den Zeitraum bis 2050 15

4.1 HFKW-Emissionen aus Kältetechnik und stationärer Klimatechnik 15
Ausgangssituation und Trends der Bestandsentwicklung 15
Kältetechnik und stationäre Klimatechnik: BAU Szenario 19
Kältetechnik und stationäre Klimatechnik: Szenario „mit Maßnahmen“ 20
Kältetechnik und stationäre Klimatechnik: Szenario „Mit weiteren Maßnahmen“ 24
Übersicht der Emissionen bis 2050 in den beschriebenen Szenarien 26
4.2. HFKW-Emissionen aus dem Mobilklima-Sektor 28
Ausgangssituation und Projektion der Entwicklung des Fahrzeugbestandes 28
Mobilklima: BAU-Szenario 31
Mobilklima: Szenario „mit Maßnahmen“ 32
Mobilklima: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ 33
Übersicht der Emissionen aus Mobilklima bis 2050 in verschiedenen Szenarien 35
4.3. HFKW-Emissionen aus dem Schaum-Sektor (ohne Montageschaum) 37
Ausgangssituation und Trends – XPS Dämmschaum 37
Schaumsektor: BAU-Szenario – XPS Dämmschaum 37
Schaumsektor: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ – XPS Dämmschaum 37
Ausgangssituation und Trends – PU-Hart- und Integralschaum 37
Schaumsektor: BAU-Szenario – PU Hart- und Integralschaum 38
Schaumsektor: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ – PU Hart- und Integralschaum 38
4.4. HFKW-Emissionen aus Montageschaum 40
Ausgangssituation und Trends 40
4.5. HFKW-Emissionen aus Dosieraerosolen 42
Ausgangssituation und Trend 42
Dosieraerosole: BAU-Szenario 42
Dosieraerosole: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ 42
4.6. HFKW-Emissionen aus technischen Aerosole, Novelties und Lösemitteln 43

Technische Aerosole etc.: BAU-Szenario 44
Technische Aerosole etc.: Szenario „mit Maßnahmen“ 44
Technische Aerosole etc.: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ 44
4.7 HFKW-Emissionen aus Feuerlöschmitteln 45
Ausgangssituation und Trends 45
Feuerlöschmittel: BAU-Szenario 45
Feuerlöschmittel: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ 46
4.8 HFKW- und SF_6-Emissionen aus der Herstellung von F-Gasen 47
4.9 FKW-Emissionen 48
FKW-Emissionen: Ausgangssituation und Trends - Aluminiumindustrie 48
FKW-Emissionen: Szenarien - Aluminiumindustrie 48
FKW-Emissionen: Ausgangssituation und Trends - Halbleiterindustrie 48
FKW-Emissionen: Szenario BAU - Halbleiterindustrie 49
FKW-Emissionen: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ - Halbleiterindustrie 49
4.10 SF_6- Emissionen 49
5. **Zusammenfassung der Projektionen von Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland im Zeitraum bis 2050** 58

Anhang Tabellen und Grafiken 60

1. Einleitung

Projektionen der Emissionen von Treibhausgasen sind ein wichtiges klimapolitisches Instrument, um politische Maßnahmen abzuleiten und zu priorisieren. Zugleich dienen solche Projektionen auch als Erfolgsmaßstäbe politischen Handelns.

Die vorliegende Studie aktualisiert Projektionen der Emissionen fluorierter Treibhausgase (F-Gase) in Deutschland für den Zeitraum bis 2050 und berücksichtigt dabei neueste Entwicklungen in Politik, Recht und Technik. In mehreren Szenarien werden Projektionen für F-Gas Emissionen für die Jahre 2020, 2030 und 2050 berechnet. Als Ausgangsjahr der Projektionen dient das Berichtsjahr 2008, weiterhin wird ein Bezug zum Basisjahr 1995 hergestellt.

Die Auswahl der Szenarien basiert auf der Entscheidung 280/2004/EG der Europäischen Kommission, welche beinhaltet, dass die EU-Mitgliedsstaaten alle zwei Jahre nationale Vorausschätzungen der Emissionen an die Kommission übermitteln und dabei zwischen den Szenarien „mit Maßnahmen“ (MM) und „mit weiteren Maßnahmen“ (MWM) unterscheiden müssen. Hierbei gelten die Leitlinien des UNFCCC und die Bestimmungen der Kommissionsentscheidung 2005/166/EG. Darüber hinaus wurde ein Referenzszenario (Business-as-usual; BAU) zu Vergleichszwecken gerechnet. Die Studie umfasst die drei genannten Szenarien für jeden Anwendungssektor fluorierter Treibhausgase gemäß der Struktur der Emissionsberichterstattung. An geeigneter Stelle wurden außerdem Varianten für bestimmte potentielle Entwicklungen eingefügt.

2. Methodologie

2.1 Basisdaten und Szenarien

Die Projektionen der Emissionen fluorierter Treibhausgase für Deutschland für den Zeitraum bis 2050 basieren auf den Angaben der Emissionsberichterstattung aus den Jahren 1990-2008. Die sektorale Gliederung des Datenbestandes im Zentralen System Emissionen (ZSE) beim Umweltbundesamt wird auch in den Projektionen beibehalten und erlaubt differenzierte Annahmen zur Entwicklung der einzelnen Sektoren.

Für die Berechnung der Emissionen werden die GWP-Werte herangezogen, die auch in der Emissionsberichterstattung für das Kyoto-Protokoll zu Grunde gelegt werden (Anhang). Diese GWP-Werte sind niedriger diejenigen aus neueren Publikationen des IPCC[1], werden aber aus Gründen der Vergleichbarkeit mit dem Datenbestand des ZSE verwendet. Im zweiten Teil der Studie hingegen basieren die Projektionen der globalen Emissionen fluorierter Treibhausgase auf den neueren GWP-Werten.

Um die Vergleichbarkeit der Szenarien zu gewährleisten, werden generelle Annahmen zur künftigen Entwicklung der Sektoren getroffen und vor der vergleichenden Berechnung der drei Szenarien dargestellt.

- Das **„business as usual" Szenario (BAU)** dient als Referenzszenario und extrapoliert Trends der Verwendung und Emissionen fluorierter Treibhausgase seit 1990. Gesetzliche Änderungen der letzten Jahre sind in diesem Szenario nicht integriert. Sofern nicht anders vermerkt, werden die technischen Daten als konstant angenommen.

- Das **Szenario „mit Maßnahmen" (MM)** berücksichtigt die Auswirkungen der europäischen F-Gas-Gesetzgebung. Die Umsetzung in die nationale Gesetzgebung in Deutschland erfolgte durch die Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung (ChemKlimaschutzV)[2]. Diese ist Teil des „Integrierten Energie- und Klimaprogramms der Bundesregierung" (Meseberger Beschlüsse, 2007) und sieht in wichtigen Teilbereichen noch weitergehende Maßnahmen zur Emissionsreduktion vor.

  Für die Emissionsentwicklung in der EU von großer Bedeutung ist die Verpflichtung im Bereich der Kälte- und Klimatechnik zu regelmäßigen Dichtheitsprüfungen von Anlagen mit Füllmengen > 3 kg. Diese sind in Abhängigkeit von der Kältemittel-Füllmenge in festgelegten Zeitabständen[3] durchzuführen, um Emissionen aus Leckagen zu verringern.

[1] IPCC 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Switzerland, 104pp.

[2] Verordnung zum Schutz des Klimas vor Veränderungen durch den Eintrag bestimmter fluorierter Treibhausgase (Chemikalien-Klimaschutzverordnung –ChemKlimaschutzV) vom 2. Juli 2008.

[3] Gemäß Artikel 3 der EU F-Gase Verordnung 842/2006 müssen die Dichtheitsprüfungen bei Anlagen mit Füllmengen von 3 bis 30 kg alle 12 Monate wiederholt werden, bei Anlagen mit 30 bis 300 kg alle 6 Monate und bei Anlagen mit mehr als 300 kg Füllmenge alle 3 Monate.

Die deutsche ChemKlimaschutzV geht darüber hinaus, indem sie für diese Anlagen maximale Leckageraten festlegt, die in Abhängigkeit von der Füllmenge und dem Baujahr der Anlage einzuhalten sind. Diese innerhalb der EU einzigartigen Höchstgrenzen sind aus unserer Sicht sehr anspruchsvoll definiert.

Trotz der eindeutigen Gesetzeslage erscheint es uns daher angebracht, eine realistische Einschätzung des gegenwärtigen Standes der Umsetzung der ChemKlimaschutzV zu geben. Daher errechnen wir für das Szenario „mit Maßnahmen“ im Bereich der Klima- und Kältetechnik die Varianten

a) entsprechend der gesetzlich vorgeschriebenen Maßnahmen, und
b) gemäß einer realistischen Einschätzung der bisherigen Umsetzung.

Die Werte aus beiden Varianten bezeichnen die Schwankungsbreite für mögliche Emissionen fluorierter Treibhausgase aus verschiedenen Sektoren. Daraus ergibt sich auch in der Gesamtprognose ein Schwankungsbereich.

Im Bereich der mobilen Klima- und Kältetechnik erfordert die Gesetzeslage den Ersatz des gängigen Kältemittels HFC-134a in neuen Pkw durch Kältemittel mit GWP < 150. Derzeit ist HFC-1234yf (GWP 4) als Alternative im Gespräch, jedoch besteht auch die Möglichkeit, CO_2 (GWP 1) als Ersatz-Kältemittel einzuführen. Daher werden in diesem Szenario zwei Varianten für die beiden potentiellen Ersatz-Kältemittel getrennt berechnet.

- Das **Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ (MWM)** thematisiert Maßnahmen zur weiteren Reduktion der Emissionen fluorierter Treibhausgase, die noch nicht politisch umgesetzt sind, aber technisch möglich wären und insofern politisch relevant werden könnten. Für einzelne Sektoren werden konkrete Maßnahmen vorgeschlagen und daraus resultierende Emissionsreduktionen für den Zeitraum bis 2050 dargestellt. Insgesamt ergibt sich in diesem Szenario die Fragestellung, welche Emissionsquellen für fluorierte Treibhausgase in Deutschland langfristig bestehen bleiben werden. Die weitergehenden Maßnahmen des Szenarios sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Für den Bereich der mobilen Klima- und Kältetechnik werden analog zum Szenario „mit Maßnahmen“ zwei Varianten für den Ersatz des Kältemittels HFC-134a durch entweder HFC-1234yf oder CO_2 in allen Fahrzeugarten berechnet.

Tabelle 1: Liste berücksichtigter Maßnahmen im MWM-Szenario zur Reduzierung der Emissionen von FKW, HFKW und SF_6 in Deutschland	
Sektor	**Berücksichtigte Maßnahmen**
Kälte- und stationäre Klimaanlagen	Haushaltskälte: Ab 2011 keine Neugeräte mit HFKW Gewerbekälte und Industriekälte: Ab 2017 Neuanlagen nur noch mit natürlichen Kältemitteln Transportkälte: Ab 2017 Neufahrzeuge nur noch mit natürlichen Kältemitteln Stationäre Klimaanlagen: Bei zentralen Anlagen ab 2011 neue Turbo- und Schraubenverdichter-Systeme, ab 2017 neue Scroll- und Kolbenverdichter-Systeme nur noch mit natürlichen Kältemitteln. Mobile Raumklimageräte ab 2011 nur noch mit natürlichen Kältemitteln, VRF, Split und Multisplit-Systeme ab 2017 mit natürlichen Kältemitteln. Wärmepumpen: Neue Luft-Wasser-Wärmepumpen ab 2011 mit natürlichen Kältemitteln, neue Sole-Wasser-, Wasser-Wasser- und Wärmewasser-Wärmepumpen ab 2017 mit natürlichen Kältemitteln.
Mobilklima	Substitution im Zeitraum 2011-2017 von HFKW durch Kältemittel mit GWP < 150 in allen Fahrzeugtypen
Schaum: XPS, PU Hart-und Integralschaum	XPS: ab 2015 kein HFKW-Einsatz mehr PU Hart- und Integralschaum: ab 2015 Totalverzicht auf HFKW in PU Schaum
Montageschaum	Verzicht auf HFKW in Treibmittelgemischen ab 2015
Dosieraerosole	Verdoppelung des Marktanteils der Pulverinhalatoren und vergleichbarer HFKW-freier Systeme bis 2020
Technische Aerosole, Novelties, Lösemittel	Technische Aerosole: weitgehende Einschränkung des HFKW-Einsatzes Novelties, Lösemittel: Totalverzicht auf HFKW
Feuerlöschmittel	Ab 2011 kein Einsatz von HFKW-227 in Neuanlagen mehr zugunsten von Fluorketonen
Halbleiterindustrie	Weitere Senkung der Emissionen um 50% des Zielwertes der ursprünglichen Selbstverpflichtung, bis 2015
Magnesiumproduktion	Ab sofort Ersatz von SF_6 als Schutzgas in weiteren Produktionsstätten für Magnesium-Druckguss (jährlich verwendete Menge an SF_6 < 850 kg). Ab 2020 Ersatz von SF_6 auch im Sandguss-Verfahren
Aluminiumproduktion	Ersatz von SF_6 als Reinigungsgas durch andere Gase 2011-2015.
Schaltanlagen	Ersatz durch alternatives Isoliermedium ab 2020
Schweißtechnik und AWACS-Radar	Verzicht auf SF_6 ab 2010.
Photovoltaik	Vollständiger Ersatz fluorierter Treibhausgase durch elementares Fluor zur Kammerreinigung bis 2020

2.2 Grundlegende Annahmen

Einige Grundannahmen hinsichtlich Bevölkerungswachstum und wirtschaftlicher Entwicklung gelten für alle drei Szenarien, um deren Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Zahlen und Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung werden wie auch in den Politikszenarien V[4] der Variante V1-W2 der jüngsten Bevölkerungsprognose des Statistischen Bundesamtes übernommen, die als die obere Grenze der mittleren Bevölkerungsentwicklung gilt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Projektion der Bevölkerungsentwicklung in Deutschland bis 2050 (Angaben in Millionen)

2005	2010	2020	2030	2040	2050
82,438	82,039	81,328	79,750	77,288	73,958

Quelle:
Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2050 – 11. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden, 2006.

Für die künftige wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands werden die Annahmen der Politikszenarien V[5] bis 2030 übernommen. Dabei wird trotz der gegenwärtigen Wirtschaftskrise und einer rückläufigen Bevölkerung von einem langfristigen Wachstum des Bruttoinlandsproduktes (BIP) von jährlich durchschnittlich 1,6% (real) ausgegangen (2006-2030). Das Wirtschaftswachstum flacht jedoch von 1,6% (2006 – 2020) auf 1,4% (2020-2030) ab. Die genannten Annahmen werden für die vorliegenden Projektionen bis 2050 fortgeschrieben. (Tabelle 4)

Tabelle 4: Projektion der Entwicklung des BIP in Deutschland bis 2050 (in Mrd. €)

	2006*	2010	2020	2030	2040	2050
BIP (real)	2305	2483	2925	3377	3900	4504

2006: Istwert; 2010-2050: Projektionen.

[4] Umweltbundesamt (Hrsg.): Politikszenarien für den Klimaschutz V – auf dem Weg zum Strukturwandel; Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030; Dessau-Roßlau 2009, S.47.
[5] S.o., S.48f.

2.3 Annahmen zu Emissionen und Emissionsraten

Tabelle 5 stellt die in allen Sektoren und Szenarien verwendeten Emissionsfaktoren in der Übersicht dar. Befüllemissionen sind wegen ihrer relativ geringen Bedeutung hier nicht angegeben.

Tabelle 5: Übersicht der verwendeten Emissionsfaktoren

Sektor	**BAU**	**MM**		**MWM**
Stationäre Kälte				
Haushaltskälte				
Bestandsemissionen	0,3%	0,3%		0,3%
Entsorgungsemissionen	30%	20%		20%
Gewerbekälte				
Bestandsemissionen	5 – 10%	1,5 – 8% (Chem KlimaSchutzV)	5%	1,5 – 3%/ 5%
Entsorgungsemissionen	30%	20%*		20%*
Industriekälte				
Bestandsemissionen	7%	1-6% (Chem KlimaSchutzV)	5%	5%
Entsorgungsemissionen	30%	20%		20%
Transportkälte				
Bestandsemissionen				
Trucks, Trailer	15%	10%		10%
Vans	30%	25%		25%
Entsorgungsemissionen	30%	20%		20%
Stationäre Klimaanlagen				
Bestandsemissionen				
Zentrale Klimasysteme (Kaltwassersätze)	6%	1-6% (Chem KlimaSchutzV)	5%	5%
Raumklimageräte	2,5%	2,5%		2,5%
Wärmepumpen	2 – 2,5%	2 – 2,5%		2 – 2,5%
Entsorgungsemissionen	30%	20%		20%
Mobilklima				
Gesamtemissionen				
Pkw	12,5%	12,5%		12,5%
LKW	16%	16%		16%
Busse	17,5%	17,5%		17,5%
Landmaschinen	19%	19%		19%
Schienenfahrzeuge	7,5%	7,5%		7,5%
Schiffe	27,5%	27,5%		27,5%

Schaum: XPS-Dämmplatten			
Herstellemissionen	30%	kein Szenario	30%
Bestandsemissionen	0,66%	kein Szenario	0,66%
Schaum: PU			
Herstellemissionen	15%**	kein Szenario	15%
Bestandsemissionen	1%	kein Szenario	1%
Montageschaum	100%	100%	100%
Dosieraerosole	100%	kein Szenario	100%
Aerosole, Lösemittel	100%	100%	100%
Feuerlöschmittel			
Bestandsemissionen	1%	1%	1%
Entsorgungsemissionen	3%	1,5%	1,5%
Magnesiumguss	100%	100%	100%
Aluminiumschmelzen	1,5%	1,5%	1,5%
Schallschutzscheiben			
Herstellemissionen	33%	33%	kein Szenario
Bestandsemissionen	1%	1%	kein Szenario
Entsorgungsemissionen	100% des Rests	100% des Rests	kein Szenario
Schaltanlagen			
Herstellemissionen	1%	1%	1%
Bestandsemissionen	1%	1%	1%
Entsorgungsemissionen	1,5%	1,5%	1,5%
Autoreifen	100%	100%	kein Szenario
Schweißen, AWACS-Rada	100%	kein Szenario	100%
Teilchenbeschleuniger	6%	kein Szenario	kein Szenario
Optische Glasfasern	70%	kein Szenario	kein Szenario
Photovoltaik	4%	kein Szenario	4%

* Die höhere Rückgewinnungsquote von 80% geht auf verbesserte Einhaltung des entsprechenden Artikels 4 der F-GaseV zurück.

** Die Herstellungsemissionen sind höher als im Durchschnitt der globalen PU-Hartschaumproduktion, weil die stärker emissive Spritzschaumanwendung in Deutschland dominiert.

3. Emissionen fluorierter Treibhausgase im Basisjahr 2008 in Deutschland

Die ermittelten Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland lagen bei ca. 15,3 MT CO_2 eq. im Jahr 2008, was dem Stand des Jahres 1995 entspricht.

Tabelle 6 stellt die Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland im Jahr 1995, dem Ausgangsjahr der Emissionsberichterstattung für F-Gase, und im Jahr 2008, dem Basisjahr der vorliegenden Projektionen, dar. Die Tabelle folgt der sektoralen Struktur der CRF-Berichterstattung, die auch für die Projektionen beibehalten wird.

Im Jahr 2008 wurden in Deutschland ca. 6878 t HFKW emittiert, was klimarelevanten Gesamtemissionen von etwa 11,5 MT CO_2 eq. entspricht. Der größte Anteil der HFKW-Emissionen stammt aus dem stationären Kälte-und Klimasektor, gefolgt vom Sektor der mobilen Kälte und Klima. Im Vergleich zum Ausgangsjahr der Berichterstattung für F-Gase, 1995, sind die HFKW-Emissionen um ca. 5 MT CO_2 eq. angestiegen, was einer jährlichen Zunahme von 4,55% im Zeitraum 1995-2008 entspricht.

Die FKW-Emissionen beliefen sich auf ca. 75 t bzw. 0,5 MT CO_2 eq. im Jahr 2008. Im Vergleich zu 1995 entspricht dies einem Rückgang von über 1 MT CO_2 eq. und einer jährlichen Abnahme der Emissionen von ca. 8,8% im Zeitraum 1995-2008.

Die SF_6-Emissionen lagen bei ca. 135 t bzw. 3,3 MT CO_2 eq. im Jahr 2008. Gegenüber 1995 stellt dies eine Abnahme 4 MT CO_2 eq. dar.

Tabelle 6: Emissionen fluorierter Treibhausgase 1995 und 2008 in t und MT CO_2 eq.

	1995 (t)	**1995 (MT CO_2 eq.)**	**2008 (t)**	**2008 (MT CO_2 eq.)**
HFKWs				
Stationäre Kälte/Klima	73	0,169	2113	5,292
Mobile Kälte/Klima	167	0,231	3184	4,265
- davon nur Pkw	*133*	*0,172*	*2696*	*3,505*
XPS-Schäume	0	0	757	0,565
PU-Schäume	0	0	179	0,191
PU-Montageschaum	1823	1,534	219	0,265
Dosieraerosole	0	0	206	0,303
Andere Aerosole/Lösemittel	254	0,318	155	0,195
Feuerlöschmittel	0	0	2,9	0,012
HFKW - Ersatz für HFCKW	**2317**	**2,252**	**6816**	**11,088**
Produktion/Halbl./Mg-134a	366	4,231	62	0,489
HFKW Gesamt	**2683**	**6,483**	**6878**	**11,545**
FKW-Emissionen				
Aluminiumproduktion	230	1,552	37	0,247
Halbleiterherstellung	23	0,177	18	0,137
Leiterplattenfertigung	2	0,013	2	0,013
Kältemittel	1,2	0,008	16,8	0,124
Sportschuhe			1,4	0,010
FKW Gesamt	**256**	**1,750**	**75**	**0,531**

SF_6-Emissionen				
Autoreifen	110	2,629	1,1	0,026
Schallschutzscheiben	107,9	2,578	71,2	1,703
Elektr. Schaltanlagen	27,3	0,654	14,0	0,334
T&D Bauteile	16,7	0,400	8,7	0,207
Teilchenbeschleuniger	4,5	0,108	4,9	0,118
Magnesiumguss	7,8	0,188	7,3	0,175
Alu-Schmelze/Spurengas	1,0	0,024	1,5	0,036
Sohlen/Radar/Schweißen	18,5	0,442	7,3	0,173
Photovoltaik/Optische Fasern	0	0	12,5	0,300
Sonstiges einschl. Halbleiter	9,0	0,216	4,9	0,117
SF_6 Gesamt	**303**	**7,237**	**133**	**3,189**
Gesamtemissionen fluorierter Treibhausgase	**3242**	**15,470**	**7086**	**15,265**

Quelle:
Öko-Recherche: Inventarermittlung der F-Gase 2008. Daten von HFKW, FKW und SF_6 für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für das Berichtsjahr 2008, im Auftrag des Umweltbundesamts (FKZ 360 16 026), November 2009.

Die Tabelle 6 unterscheidet sich von den Werten in unserer Studie für das Berichtsjahr 2008 durch deutlich niedrigere Emissionswerte für SF_6 und damit auch für die Gesamtheit der F-Gase. Statt 18 MT CO_2-Äquivalente im Jahr 2008 sind es nur 15,3 MT. Die Hauptursache ist die rechnerische Senkung des Emissionsfaktors der SF_6-Anwendung Aluminiumschmelze von 100% auf nur 3%. Diese Revision ist erforderlich, weil im Zeitraum unserer Studie für die EU-Kommission (siehe Fußnote 44) erstmals verlässliche Messungen der Abgasemissionen durchgeführt wurden, deren Resultate für die Berichtsstudie 2008 noch nicht vorlagen. Eine Revision geringeren Ausmaßes bezieht sich auf SF_6–Emissionen aus der Photovoltaik-Industrie. Ein ebenfalls von uns durchgeführtes Gutachten (siehe Fußnote 46) ergab: Sie betragen nicht 0,450 MT CO_2-Äquivalente, sondern nur 0,055 MT CO_2-Äquivalente. Hier waren umfangreiche Maßnahmen zur Abgasbehandlung zu berücksichtigen.

4. Projektionen der Emissionen fluorierter Treibhausgase pro Anwendungssektor in Deutschland für den Zeitraum bis 2050

4.1 HFKW-Emissionen aus Kältetechnik und stationärer Klimatechnik

Ausgangssituation und Trends der Bestandsentwicklung

- **Stationäre Kältetechnik: Haushaltskälte**

In Deutschland werden Haushaltskühlschränke und Haushaltsgefriergeräte seit 1994 generell mit dem Kältemittel R-600a (Isobutan) befüllt. Etwa 1% der jährlich in Deutschland verkauften Neugeräte ist trotzdem noch mit R-134a aus ausländischer Befüllung ausgestattet (ca. 40 000 Haushalts-Kühl- und Gefriergeräte). Da der deutsche Markt als gesättigt gilt und sinkende Bevölkerungszahlen angenommen werden, ist nicht von Wachstum des Absatzes auszugehen. Wir nehmen daher eine konstante Anzahl der jährlich angeschafften Neugeräte mit HFKW-134a für den Zeitraum bis 2050 an.

- **Stationäre Kältetechnik: Gewerbekälte**

Das starke Wachstum der Gewerbekälte in den letzten Jahren wird im Lebensmittelbereich durch die Ausweitung des Sortiments an Frischwaren[6], den Trend zu Chilled Convenience Food[7] und dem steigenden Pro-Kopf-Verbrauch an tief gekühlten Lebensmitteln[8] belegt. Diese Entwicklungen dürften sich in den nächsten Jahren noch fortsetzen.

Der IPCC SROC Report (2005) geht in Europa von einer jährlichen Wachstumsrate von 1,8% aus (2002 – 2015). Wir nehmen für den Zeitraum 2008-2030 ein jährliches Wachstum von 1,5% an. Im Zeitraum 2030-2050 gehen wir aufgrund des geschätzten Bevölkerungsrückgangs und der beginnenden Marktsättigung von einem Wachstums-rückgang des Sektors der Gewerbekälte auf noch 0,7% jährlich aus.

- **Stationäre Kältetechnik: Industriekälte**

Die industrielle Kältetechnik hat in den vergangenen Jahren vor allem im Bereich der Lebensmittelindustrie, dem für industrielle Kühlung bestimmenden Sektor, stetiges Wachstum erfahren. So ist etwa der Pro-Kopf-Verbrauch an Tiefkühlkost seit einigen Jahren um jährlich 3,9% gestiegen (2000-2008). Vergleiche mit anderen Ländern[9] zeigen, dass das Wachstumspotential des deutschen Tiefkühlmarktes noch längst nicht ausgeschöpft ist. Wir halten weiteren Zuwachs des Pro-Kopf-Verbrauchs von derzeit 39 kg (2008; ohne Speiseeis) bis 52 kg für möglich (+33%), was in etwa dem derzeitigen Pro-Kopf-Verbrauch in den USA entspricht.
Da die Wachstumsraten aus den letzen Jahren langfristig zu hoch erscheinen, setzen wir bis 2030 in Anlehnung an die Schätzung des SROC-Reports (2005)[10] das jährliche Wachstum

[6] KPMG 2008: Sortimente und Warengruppen im deutschen Lebensmitteleinzelhandel – eine Bewertung aus Verbrauchersicht.
[7] Bundesvereinigung der deutschen Ernährungsindustrie
[8] Deutsches Tiefkühlinstitut e.V.: Pro-Kopf Verbrauch von Tiefkühlkost der Deutschen 1978 – 2008.
[9] Deutsches Tiefkühlinstitut e.V.
[10] IPCC/ UNEP TEAP: SROC, Technical Summary, S. 35: Wachstumsrate für Europa (2002-2015).

bei 1% an. Im Bereich der Nahrungsmittel-Kühlung bedeutet dies, dass der Pro-Kopf-Verbrauch von jährlich 52 kg Tiefkühlkost gemäß der angenommenen Bevölkerungsentwicklung etwa im Jahr 2030 erreicht werden dürfte. Der Verbrauch an tiefgekühlten Lebensmitteln in Deutschland wird dann ca. 4 Millionen Tonnen betragen.

Für den Zeitraum 2030-2050 halten wir aufgrund der Marktsättigung und sinkender Bevölkerungszahlen einen starken Rückgang der Wachstumsrate der Industriekältetechnik für wahrscheinlich und schätzen den jährlichen Zuwachs auf dann noch 0,3%.

Anmerkung: Der Trend zur Ausweitung der industriellen Kältetechnik ist hier Kältemittel-neutral beschreiben und berücksichtigt nicht den hohen Anteil des natürlichen Kältemittels Ammoniak im Sektor.

- **Transportkälte**

In Anlehnung an die erwartete Zunahme des Konsums von Tiefkühlprodukten und gekühlten frischen Produkten ist auch mit weiterem Wachstum des Sektors der Transportkälte zu rechnen[11]. Da die HFKW-Emissionen aus Behälterkühlung (Container) für ein einzelnes Land aufgrund der globalen Logistik kaum sinnvoll errechnet werden können, werden sie in dieser Studie nicht betrachtet. Die folgenden Annahmen zu Bestandsentwicklung und Emissionen gelten ausschließlich für Straßenfahrzeug-Kühlung.

Wir gehen für den Zeitraum 2008-2030 von einem jährlichen Wachstum von 1,5% in allen Fahrzeugklassen (Gesamtgewicht > 22 t, 9-22 t, 5- < 9 t, 2 - < 5 t) aus. Ab 2030 nehmen wir aufgrund der sinkenden Bevölkerungszahl und der beginnenden Marktsättigung nur noch 1% jährliches Wachstum an. Die geschätzte Lebensdauer beträgt für alle Fahrzeugklassen 10 Jahre.

Die Bestandsemissionen werden bei Trucks und Trailern auf 15% des Kältemittelbestandes geschätzt, bei Vans auf 30%. Die Entsorgungsemissionen werden bei 30% angenommen. Diese Emissionsraten werden im BAU-Szenario als konstant angenommen.

- **Stationäre Klimatechnik**

Stationäre Klimaanlagen sollen in Gebäuden jederzeit behagliche Temperaturen schaffen. Für einzelne Räume oder Etagen werden dazu Raumklimageräte genutzt, große zentrale Systeme dienen zur Klimatisierung großer Säle oder ganzer Gebäude.

Der Sektor der stationären Klimatechnik hat in Deutschland in den letzten Jahren starkes Wachstum erfahren[12], weist jedoch im Vergleich zu anderen Industrieländern noch immer hohes Wachstumspotential auf. Allerdings ist aufgrund der gemäßigten klimatischen Bedingungen, aber auch wegen der soliden Bauweise mit guter Isolierung das Marktpotential in Deutschland nicht unbedingt mit anderen Industrieländern gleichzusetzen.

Für zentrale Klimaanlagen (Kaltwassersätze) gehen wir auf Grundlage der Wachstumsraten der letzten Jahre nur für Turbo-Verdichter von weiterem Wachstum aus, das wir mit jährlich 1% bis 2050 ansetzen[13]. Bei Schraubenverdichtern wird nicht mit weiterem Wachstum,

[11] Der UNEP TEAP SROC-Report (2005) geht von einem jährlichen Wachstum von 2% in Europa im Zeitraum 2002-2015 aus.

[12] Chillventa Länderreport 2008.

[13] Expertenschätzung: Matthias May, telefonisch, 08.12.2009.

sondern konstanten Verkaufszahlen gerechnet. Aufgrund der Konkurrenz durch VRF-Anlagen (siehe unter Raumklimageräten) wird auch für Kolben- und Scroll-Verdichter-Anlagen kein Wachstum, sondern konstanter Absatz angenommen.

Der Markt für Raumklimageräte in Deutschland hat in den letzten Jahren deutliches Wachstum erlebt, bleibt jedoch deutlich hinter Italien oder Spanien zurück.[14] Mit hohen Wachstumsraten ist langfristig aber nicht zu rechnen, da zum Einen die klimatischen Bedingungen in Deutschland nicht mit Südeuropa vergleichbar sind, und zum Anderen Verbesserungen der Gebäudedämmung und energetischen Sanierung die Anschaffung von Klimageräten in vielen Gebäuden nicht befördern wird. Daher gehen wir von stabilen Wachstumsraten von 1,5%[15] für alle Raumklimageräte (VRF-Systeme, Split- und Multisplit-Anlagen, mobile Klimageräte) aus. Als Kältemittel wird mittelfristig nur noch R-410A verwendet werden.

- **Wärmepumpen**

Die Wärmepumpe wurde als alternative Heizungstechnologie Mitte der 1970er Jahre infolge der Unsicherheit der künftigen Energiepreise gefördert und entwickelt. Nach anfänglich starkem Wachstum des Marktes sank der Bedarf an Heiz-Wärmepumpen durch den Rückgang der Ölpreise in den 1980er Jahren dramatisch, der Absatz an Warmwasser-Wärmepumpen hingegen blieb nahezu konstant. Seit 2005 ist wieder starker Zuwachs der Absatzzahlen zu verzeichnen. Seit Januar 2008 wird der Einbau von Wärmepumpen durch das Marktanreizprogramm des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle gefördert, das seit 2009 über das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz massiv aufgestockt und auf eine gesetzliche Grundlage gestellt worden ist. Mit weiterem Wachstum des Marktes für Wärmepumpen ist angesichts der Anerkennung von Heizwärmepumpen als erneuerbare Energiequelle durch die EU-Richtlinie (2009/28/EG)[16] zu rechnen.

Bei zumindest gleichbleibender Förderung und konstanten politischen Rahmenbedingungen wird vom Branchenverband für den Markt der Heizwärmepumpen[17] in Deutschland bis 2030 ein Absatzzuwachs auf rund 120000 Einheiten pro Jahr geschätzt.[18] Dies entspricht abzüglich des Austausches von Altanlagen einer Wachstumsrate für Neuanlagen von jährlich 3% (2008-2030). Der Einbau von Warmwasser-Wärmepumpen wird nicht im selben Maße gefördert wie die Installation von Heizwärmepumpen[19]. Daher rechnen wir mit einer Wachstumsrate für Neuanlagen von nur 2% jährlich bis 2030. Für den Zeitraum 2030-2050 nehmen wir für Heizwärmepumpen einen Zuwachs von jährlich noch 1,5% an, für Warmwasser-Wärmepumpen 1%.

---

[14] Chillventa Länderreport 2008.

[15] Expertengespräch mit Dr.-Ing. Manfred Stahl, CCI (telefonisch, 07.12.2009)

[16] http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DE:PDF

[17] Ohne Luft-Luft-Wärmepumpen, da sie in Europa derzeit nur über einen sehr geringen Marktanteil verfügen.

[18] Bundesverband Wärmepumpe 2009: BWP-Branchenstudie 2009 – Szenarien und politische Handlungsempfehlungen.

[19] Warmwasser-Wärmepumpen nutzen per Definition Abwärme und keine Umweltwärme und sind deshalb nicht als Nutzung erneuerbarer Energien anrechenbar. (vgl. auch: Bundesverband Wärmepumpe 2009: BWP-Branchenstudie 2009 – Szenarien und politische Handlungsempfehlungen, S. 17).

In neuen Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen war in den letzten Jahren steigende Nutzung des Kältemittels R-410A zu beobachten. Ab 2011 gehen wir von folgenden Anteilen verschiedener Kältemittel aus: R-407C: 45%, R-410A: 50%, R-134a: 5%.

Kältetechnik und stationäre Klimatechnik: BAU Szenario

Das BAU-Szenario stellt Emissionen aus dem Sektor der stationären Klima-und Kältetechnik auf Grundlage der oben beschriebenen Bestandsentwicklung dar. Politische Maßnahmen zur Emissionsminderung wurden in diesem Szenario nicht integriert, so dass es die Situation vor Inkrafttreten der EU-F-Gas-Gesetzgebung darstellt. Die Daten für 2008 sind insofern fiktiv, allerdings realistisch.

HFKW-Emissionen aus allen Bereichen des Sektors der Kälte- und stationären Klimatechnik steigen bis 2050 gemäß den genannten Wachstumsraten an.

Die Gesamtemissionen des Sektors im Jahr 2050 von ca. 9,2 MT CO_2 eq. stellen gegenüber den HFKW-Emissionen im Jahr 2008 (5,3 MT CO_2 eq.) einen Anstieg von knapp 75% dar.

Tabelle 7: HFKW-Emissionen (kt CO_2 eq.) aus dem Sektor Kälte- und stationäre Klimatechnik (BAU-Szenario)

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Kältetechnik					
Haushaltskälte	2	2	2	2	2
Gewerbekälte	3381	3538	3898	4248	4549
Industriekälte	1320	1392	1538	1659	1717
Transportkälte	246	335	386	439	485
Stationäre Klimatechnik					
Zentrale Systeme	401	640	658	695	721
Raumklimageräte	217	524	613	711	826
Wärmepumpen	42	163	391	651	935
TOTAL*)	**5607**	**6594**	**7487**	**8405**	**9233**

*) gerundet

Kältetechnik und stationäre Klimatechnik: Szenario „mit Maßnahmen“

Dieses Szenario basiert ebenfalls auf der oben angeführten Bestandsentwicklung und integriert darüber hinaus aktuelle Maßnahmen zur Verringerung von F-Gas-Emissionen gemäß der deutschen und europäischen Gesetzgebung.

Hierbei ist besonders die Verschärfung der Wartungspflichten für ortsfeste Klima- und Kälteanlagen mit regelmäßigen Dichtheitsprüfungen gemäß der EU-Verordnung 842/2006 (EU F-GaseV) zu nennen. Die deutsche Chemikalien-Klimaschutzverordnung (ChemKlimaschutzV) schreibt darüber hinaus Maximalwerte für Leckagen ortsfester Anlagen vor (§ 3). Diese Maximalwerte sind nach Herstellungsdatum der Anlage gestaffelt und in Tabelle 8 zusammengefasst. Die Emissionsfaktoren der betrachteten Kälte- und Klimasysteme müssen entsprechend ihrer Füllmenge angepasst werden.

Trotz dieser klaren Gesetzeslage halten wir außerdem eine Erörterung der Wirkung derjenigen Maßnahmen für sinnvoll, die nur in der EU F-GaseV enthalten sind. Ihr Beitrag zur Emissionsminderung ist sicherlich geringer als derjenige der ChemKlimaschutzV, er kann aber als Maßstab für eine "realistischere" Auffassung dienen. Daher werden für das Szenario „mit Maßnahmen“ im Bereich der Klima- und Kältetechnik zwei Varianten berechnet. Die Werte aus beiden Varianten sind getrennt aufgeführt und bezeichnen eine Schwankungsbreite der F-Gas-Emissionen aus diesem Sektor.

a) Variante entsprechend der gesetzlichen Grenzwerte für Leckagen (Tabelle 8);

b) Variante gemäß der EU F-GaseV: Die gesetzlich vorgeschriebenen Maximalwerte für Leckagen werden als hier vorläufig zu anspruchsvoll bewertet und Emissionsreduktionen auf das Maß reduziert, das als Prognose-Richtschnur für die EU F-GaseV selber diente. Diese Variante des MM-Szenarios wird daher mit höheren Leckraten berechnet.

Tabelle 8: Maximale Leckagewerte für ortsfeste Klima- und Kälteanlagen gem. ChemKlimaschutzV (Variante a des MM-Szenarios)

Füllmenge	Herstellungsdatum der Anlage		
	Bis 30.06.2005	01.07.2005 bis 30.06.2008	nach 01.07.2008
unter 10 kg	8%	6%	3%
10 bis 100 kg	6%	4%	2%
über 100 kg	4%	2%	1%

- **Stationäre Kältetechnik: Gewerbekälte und Industriekälte**

Gemäß den Vorgaben der europäischen F-Gase-Verordnung und der deutschen Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung integriert das MM-Szenario im Bereich der Kältetechnik folgende Maßnahmen:

Die Leckraten des Gerätebestandes werden entsprechend der Maximalraten in Tabelle 8 angepasst. Dabei gehen wir von folgender Zuordnung der Gerätetypen aus:

- Füllmenge 3 kg - <10 kg: montierte Anlagen in der Gewerbekälte, alle Verflüssigungssätze.
- Füllmenge 10 kg – 100 kg: ca. 50% der Zentralanlagen in der Gewerbekälte.
- Füllmenge >100 kg: alle Industrie-Kälteanlagen[20], ca. 50% der Zentralanlagen in der Gewerbekälte.

Die Füllmengen von Haushaltskühlgeräten und steckerfertigen Einzelanlagen der Industrie- und Gewerbekälte sind geringer als 3 kg. Daher unterliegen sie nicht der ChemKlimaschutzV; die Emissionsfaktoren für Bestandsemissionen werden nicht geändert.

Die Entsorgungsemissionen werden für alle Gerätetypen auf 20% reduziert. Die Anteile verschiedener Kältemittel am Gesamtmarkt werden aus dem BAU-Szenario übernommen.

Die HFKW-Emissionen aus Haushaltskühl- und Haushaltsgefriergeräten werden durch die Verminderung der Entsorgungsemissionen gesenkt und liegen bei noch 1,3 kt CO_2 eq. jährlich (BAU: 1,8 kt CO_2 eq.).

Wie oben beschrieben, werden für das „mit Maßnahmen" Szenario in der Gewerbe- und Industriekälte je zwei Varianten berechnet (Tabelle 9).

Die HFKW-Emissionen aus der Gewerbekälte liegen in der Variante a) des MM-Szenarios unter Berücksichtigung der maximalen Emissionsfaktoren nach ChemKlimaschutzV deutlich unter den Emissionen des BAU-Szenarios. Im Jahr 2030 werden ca. 1384 kt CO_2 eq. freigesetzt (BAU: 3898 kt CO_2 eq.), im Jahr 2050 noch 1617 kt CO_2 eq. (BAU: 4549 kt CO_2 eq.). In Variante b) des MM-Szenarios werden generell 5% Bestandsemissionen und 20% Entsorgungsemissionen angenommen. Die HFKW-Gesamtemissionen im Jahr 2050 liegen dann bei 2621 kt CO_2 eq.

In diesem Szenario betragen die HFKW-Emissionen aus der Industriekälte in Variante a) gemäß ChemKlimaschutzV im Jahr 2030 noch ca. 575 kt CO_2 eq. (BAU: 1538 kt CO_2 eq.) und im Jahr 2050 ca. 649 kt CO_2 eq. (BAU: 1717 kt CO_2 eq.). In Variante b) belaufen sich die Gesamtemissionen im Jahr 2050 auf 1202 kt CO_2 eq.

- **Transportkälte**

Die Vorgaben der Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung für maximale Leckraten treffen für Kühlfahrzeuge nicht zu, da es sich nicht um ortsfeste Anlagen handelt. In diesem Szenario wird analog den UBA-Politikszenarien IV[21] die Rolle der Wartungsverpflichtung für Kühlfahrzeuge betont. Wir nehmen an, dass durch regelmäßige Wartung die Bestandsemissionen auf 10% für Trucks und Trailer, sowie 25% für Vans reduziert werden. Weiterhin werden durch Maßnahmen im Bereich der Rücknahme und Entsorgung die Entsorgungsemissionen auf 20% gesenkt. Die Anteile verschiedener Kältemittel am Gesamtmarkt werden aus dem BAU-Szenario übernommen.

Die HFKW-Emissionen aus Transportkälte betragen in diesem Szenario im Jahr 2050 noch 333 kt CO_2 eq. Im Vergleich zum BAU-Szenario stellt dies eine Verminderung der Emissionen um über 150 kt CO_2 eq. dar. (Tabelle 9)

[20] In der Industriekälte kommen bei Fruchtsaftherstellern, Schlachthöfen, Gefriertrocknungsgeräten und in der Kranklimatisierung auch Füllmengen <100kg vor, die in dieser Studie wegen Geringfügigkeit jedoch nicht gesondert betrachtet werden.

[21] Politikszenarien IV, S.320

- **Stationäre Klimatechnik**

Das MM-Szenario integriert die Vorgaben der europäischen F-Gase-Verordnung und der deutschen Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung. Die Maximalwerte für Leckraten ortsfester Anlagen (Tabelle 8) werden in der Variante a) (ChemKlimaschutzV) mit folgender Zuordnung der Gerätetypen im Bereich der zentralen Klimasysteme (Kaltwassersätze) übernommen:

- Füllmenge 10 kg – 100 kg:

  Zentrale Klimaanlagen mit Kolben-/ Scrollverdichtern (Durchschnitt ca. 27 kg)

- Füllmenge > 100 kg:

  Zentrale Klimaanlagen mit Schraubenverdichtern (Durchschnitt ca. 160 kg),

  Zentrale Klimaanlagen mit Turbo-Verdichtern (Durchschnitt ca. 500 kg).

Projektionen der Emissionen aus Raumklimageräten werden hinsichtlich der Vorgaben der ChemKlimaschutzV nicht neu berechnet, da die Füllmenge der meisten Geräte unter 3 kg liegt. Sie basieren auf der beschriebenen Bestandsentwicklung und konstanten Faktoren der Bestandsemissionen ungeachtet der Füllmenge und des Herstellungsdatums.

Für die HFKW-Emissionen aus zentralen Klimasystemen ergibt sich durch die Berechnung zweier Varianten ein Schwankungsbereich (Tabelle 9).

In Variante a) werden durch Verringerung der Leckageraten auf die gesetzlich vorgeschriebenen Maximalwerte die HFKW-Emissionen aus zentralen Klimasystemen auf 265 kt CO_2 eq. im Jahr 2020, auf 204 kt CO_2 eq. im Jahr 2030 und auf 220 kt CO_2 eq. im Jahr 2050 reduziert. Der erneute Anstieg der Emissionen ab 2030 ist durch die steigende Anzahl an Geräten in der Entsorgung und dadurch zunehmende Entsorgungsemissionen begründet.

In Variante b) (EU F-GaseV) nehmen wir für die Bestandsemissionen aus zentralen Klimasystemen ungeachtet der Füllmenge und des Herstellungsdatums Leckraten von 5% an. Dadurch steigen die jährlichen HFKW-Emissionen gemäß der Bestandsentwicklung weiter an, bleiben jedoch weit unter den Emissionen des BAU-Szenarios.

Die HFKW-Emissionen aus Raumklimageräten werden durch die verringerten Entsorgungsemissionen stark vermindert und liegen 2050 noch bei 681 kt CO_2 eq. (BAU: 826 kt CO_2 eq.).

- **Haushalts-Wärmepumpen**

Die Vorgaben der ChemKlimaschutzV hinsichtlich maximaler Leckraten des Gerätebestandes werden nicht auf Wärmepumpen angewendet, da ihre Füllmengen meist deutlich unter 3 kg liegen. Die Verbesserungen der Rücknahme und Entsorgung fluorierter Treibhausgase hingegen gelten auch für Wärmepumpen, so dass wir in unseren Berechnungen von verminderten Entsorgungsemissionen von nur noch 20% ausgehen (BAU: 30%).

Dadurch sinken die HFKW-Emissionen aus Wärmepumpen ab 2030 und betragen im Jahr 2050 noch 902 kt CO_2 eq. (BAU: 935 kt CO_2 eq; - 33 kt CO_2 eq.). (Tabelle 9)

Tabelle 9: HFKW-Emissionen* (kt CO2 eq.) aus dem Sektor Kälte- und stationäre Klimatechnik (MM-Szenario)					
kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Kältetechnik					
Haushaltskälte	1	1	1	1	1
Gewerbekälte Variante a)*	2079	1258	1384	1512	1617
Gewerbekälte Variante b)*	1966	2044	2249	2450	2621
Industriekälte Variante a)	652	520	575	629	649
Industriekälte Variante b)	924	975	1077	1162	1202
Transportkälte	170	230	265	301	333
Sub-Total a)	2902	2009	2225	2443	2600
Sub-Total b)	3061	3250	3592	3914	4157
Stationäre Klimatechnik					
Zentrale Systeme Variante a)	256	265	204	214	220
Zentrale Systeme Variante b)	328	511	527	555	575
Raumklimageräte	192	432	505	586	681
Wärmepumpen	41	155	371	624	902
Sub-Total a)	489	852	1080	1424	1803
Sub-Total b)	561	1098	1403	1765	2158
TOTAL Variante a)	3390	2865	3306	3867	4403
TOTAL Variante b)	3621	4348	4995	5679	6315
Differenz	238	1483	1689	1812	1912

* Variante a) und Variante b) innerhalb des MM-Szenarios unterscheiden sich danach, ob die scharfen Emissionsgrenzwerte der ChemKlimaschutzV berücksichtigt werden oder nur die möglichen Auswirkungen der Maßnahmen nach Art 3 -5 der EU F-GaseV.

Im Szenario „mit Maßnahmen“ werden die Emissionen im Vergleich mit dem BAU-Szenario je nach Variante im Jahr 2030 um 4,2 MT CO_2 eq. (Variante a) bis 2,4 MT CO_2 eq. (Variante b) gesenkt. Im Jahr 2050 könnten Emissionen von 4,8 MT CO_2 eq. (Variante a) bis 2,9 MT CO_2 eq. (Variante b) eingespart werden.

Der Vergleich der beiden Varianten a) und b) zeigt eine Differenz von ca. 1,7 MT CO_2 eq. im Jahr 2030 und ca. 1,9 MT CO_2 eq. im Jahr 2050.

Kältetechnik und stationäre Klimatechnik: Szenario „Mit weiteren Maßnahmen“

Das Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ stellt bei identischer Bestandsentwicklung wie in den beiden anderen Szenarien darüber noch hinausgehende Emissionsreduktionen durch zusätzliche Maßnahmen dar.

- **Stationäre Kältetechnik**

Für den Bereich Kältetechnik werden im MWM-Szenario folgende Maßnahmen angenommen, die über das MM-Szenario hinausgehen:

Für Haushaltskühl- und Haushaltsgefriergeräte wird in diesem Szenario angenommen, dass ab 2011 in Deutschland keine Geräte, die mit HFKW-134 befüllt sind, mehr verkauft werden. Bei einer geschätzten durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren werden deshalb ab 2026 keine HFKW-Emissionen aus Haushaltskälte mehr auftreten.

In den Sektoren der Gewerbekälte und der Industriekälte nehmen wir im MWM-Szenario an, dass Neuanlagen ab 2017 grundsätzlich mit natürlichen Kältemitteln befüllt werden[22].

Die HFKW-Emissionen aus beiden Bereichen werden dadurch stark verringert und treten im vorliegenden Modell (Lebensdauer der Anlagen: 10 Jahre) ab 2026 nicht mehr auf.

- **Transportkälte**

Wir nehmen in diesem Szenario an, dass ab 2017 alle neuen Kühlfahrzeuge nur noch mit natürlichen Kältemitteln ausgestattet sind. Für die vor 2017 befüllten Anlagen werden die Emissionsfaktoren aus dem MM-Szenario und Anteile verschiedener Kältemittel am Gesamtmarkt aus dem MM-Szenario beibehalten.

Dadurch sinken die HFKW-Emissionen aus der Transportkälte deutlich. Die Emissionsreduktion gegenüber dem MM-Szenario beträgt im Jahr 2020 bereits über 70 kt CO_2 eq. Nach Entsorgung der letzten HFKW-führenden Anlagen etwa im Jahr 2026 treten überhaupt keine HFKW-Emissionen aus diesem Bereich mehr auf (Lebensdauer der Fahrzeuge: 10 Jahre).

- **Stationäre Klimatechnik**

Im Bereich der stationären Klimatechnik integriert das Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ folgende Ansätze: Bei zentralen Anlagen werden neue Turboverdichter- und Schraubenverdichter-Anlagen bereits ab 2011 ausschließlich mit natürlichen Kältemitteln ausgestattet. Die letzten HFKW-Anlagen werden 2035 bzw. 2030 entsorgt. Neue Scroll-

[22] Streng genommen müssten für die Emissionsentwicklung im MWM-Szenario bei der stationären Kälte- und Klimatechnik zwei Varianten berechnet werden: Da die vor 2017 mit HFKW befüllten Anlagen noch bis kurz vor 2030 weiter bestehen und Emissionen erzeugen, unterscheidet sich der Umfang der im MWM-Szenario berücksichtigten HFKW-Emissionen danach, ob als Ausgangspunkt weitergehender Maßnahmen die Variante a) oder die Variante b) des MM-Szenarios gewählt wird. Der Übersichtlichkeit halber nehmen wir im MWM-Szenario für weiter bestehende Anlagen die Emissionsfaktoren der ChemKlimaschutzV (Variante a) an und verzichten auf die Darstellung der zweiten Variante. Diese weist zwischen 2010 und 2030 in manchen Jahren um bis zu 100 kt CO_2-Äquivalente höhere Emissionen auf.

/Kolbenverdichter-Systeme sind ab 2017 nur noch mit natürlichen Kältemitteln befüllt, die letzten HFKW-Anlagen werden 2029 entsorgt.

Durch diese Maßnahmen könnten ab 2036 HFKW-Emissionen aus zentralen Klimasystemen komplett vermieden werden. Im Vergleich zum MM-Szenario könnten bereits vor 2020 deutliche Emissionsreduktionen erreicht werden (MM 2020: 265 kt CO_2 eq. (a) / 511 kt CO_2 eq. (b); MWM 2020: 223 kt CO_2 eq.).

Neue mobile Raumklimageräte werden ab 2011 mit natürlichen Kältemitteln (CO_2, Kohlenwasserstoffe) ausgestattet. Für alle anderen Typen von Raumklimageräten (VRF, Multisplit, Split) gehen wir ab 2017 von Befüllung mit natürlichen Kältemitteln aus.

Daher werden aus Raumklimageräten nach der Entsorgung der letzten HFKW-Anlagen etwa ab dem Jahr 2027 keine HFKW-Emissionen mehr auftreten (2030: BAU: 613 kt CO_2 eq./ MM: 505 kt CO_2 eq.). (Tabelle 10)

- **Wärmepumpen**

Folgende Maßnahmen wurden für Wärmepumpen im MWM-Szenario integriert: Neue Luft-Wasser-Heizwärmepumpen werden bereits ab 2011 mit natürlichen Kältemitteln (CO_2, Kohlenwasserstoffe) ausgestattet. Sole-Wasser-Heizwärmepumpen, Wasser-Wasser-Heizwärmepumpen, sowie Warmwasser-Wärmepumpen werden ab 2017 ausschließlich mit natürlichen Kältemitteln befüllt.

HFKW-Emissionen aus Wärmepumpen werden aufgrund der deutlich längeren Lebensdauer noch bis etwa 2041/2042 vorkommen, sind jedoch ab 2040 praktisch verschwunden. (Tabelle 10)

Tabelle 10: HFKW-Emissionen aus dem Sektor Kälte- und stationäre Klimatechnik (MWM-Szenario)

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Kältetechnik					
Haushaltskälte	1	1	0	0	0
Gewerbekälte	2079	1011	0	0	0
Industriekälte	652	471	0	0	0
Transportkälte	170	159	0	0	0
Stationäre Klimatechnik					
Zentrale Systeme	256	223	57	0	0
Raumklimageräte	192	311	0	0	0
Wärmepumpen	41	66	87	6	0
TOTAL	3390	2244	144	6	0

Durch die oben erläuterten Maßnahmen sinken die HFKW-Emissionen aus dem Sektor der Kälte- und stationären Klimatechnik bis 2030 deutlich und sind im Jahr 2050 nicht mehr vorhanden.

Übersicht der Emissionen bis 2050 in den beschriebenen Szenarien

Tabelle 11 fasst die Projektionen der HFKW-Emissionen aus dem Sektor der stationären Kälte- und Klimaanlagen in den drei untersuchten Szenarien zusammen.
Im Vergleich zum Referenzszenario (BAU) sinken die Emissionen im MM-Szenario ab 2010/2020 stark ab. Die Emissionsreduktionen betragen im Jahr 2030 ca. 3 - 4 MT CO_2 eq. und im Jahr 2050 ca. 3 - 4,8 MT CO_2 eq. je nach Variante des Szenarios.
Im Szenario „mit weiteren Maßnahmen" drücken die angegebenen Maßnahmen die HFKW-Emissionen auf null im Jahr 2050, was im Vergleich zum MM-Szenario eine Emissionsreduktion von ca. 4 – 6 MT CO_2 eq. bedeutet.

Tabelle 11: F-Gas-Emissionen bis 2050 aus den Sektoren Kältetechnik und stationäre Klimatechnik nach den drei Szenarien

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Szenario BAU	5607	6594	7487	8405	9233
Szenario MM*	3390-3621	2865-4348	3306-4495	3867-5679	4403-6315
Szenario MWM	3390	2244	144	6	0

* Der Spielraum für die Emissionen innerhalb des Szenarios ergibt sich daraus, dass die Maßnahmen innerhalb des MM-Szenarios unterschiedlich weit gehen, je nachdem, ob die scharfen Emissionsgrenzwerte der ChemKlimaschutzV berücksichtigt werden oder nur die möglichen Auswirkungen der Maßnahmen nach Art 3 -5 der EU F-GaseV.

Abbildung 1 stellt die HFKW-Emissionen aus der Kältetechnik in den beschriebenen Szenarien bis 2050 graphisch dar, Abbildung 2 fasst die HFKW-Emissionen aus der stationären Klimatechnik zusammen. Beim Vergleich der beiden Graphiken ist der unterschiedliche Maßstab zu beachten.

Abbildung 1: HFKW-Emissionen aus der Kältetechnik im Zeitraum 2010 bis 2050.

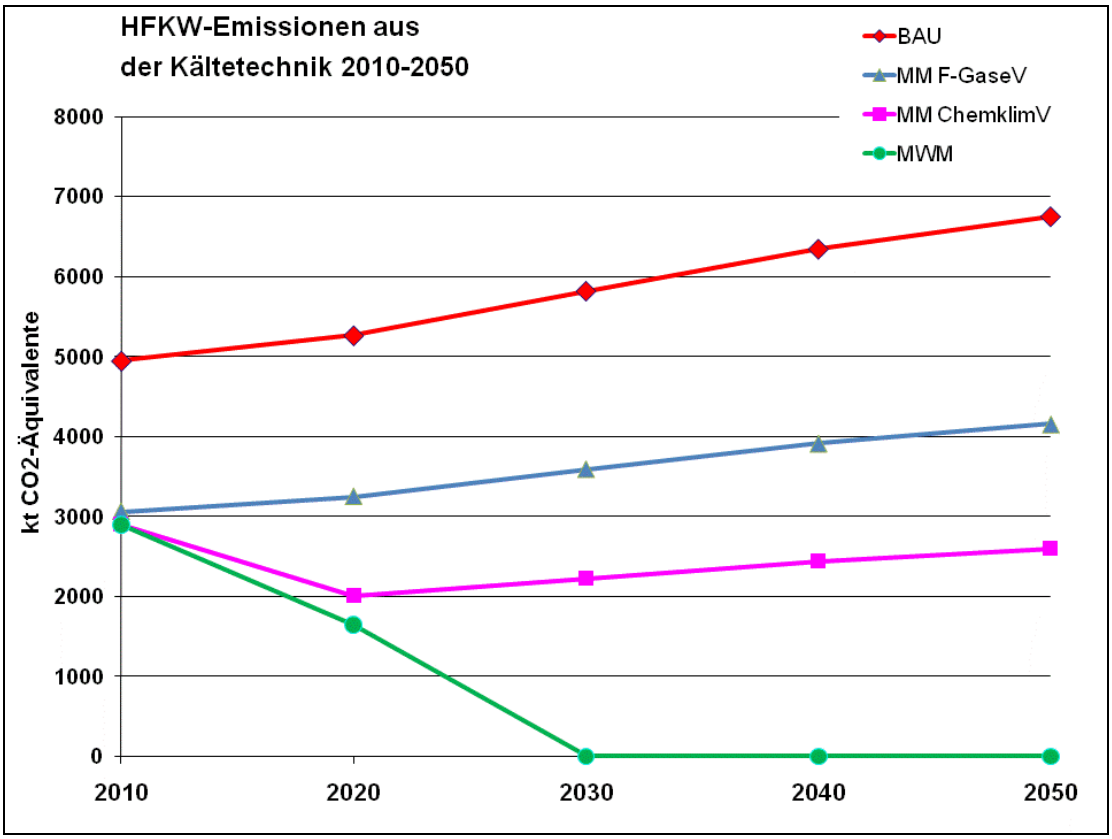
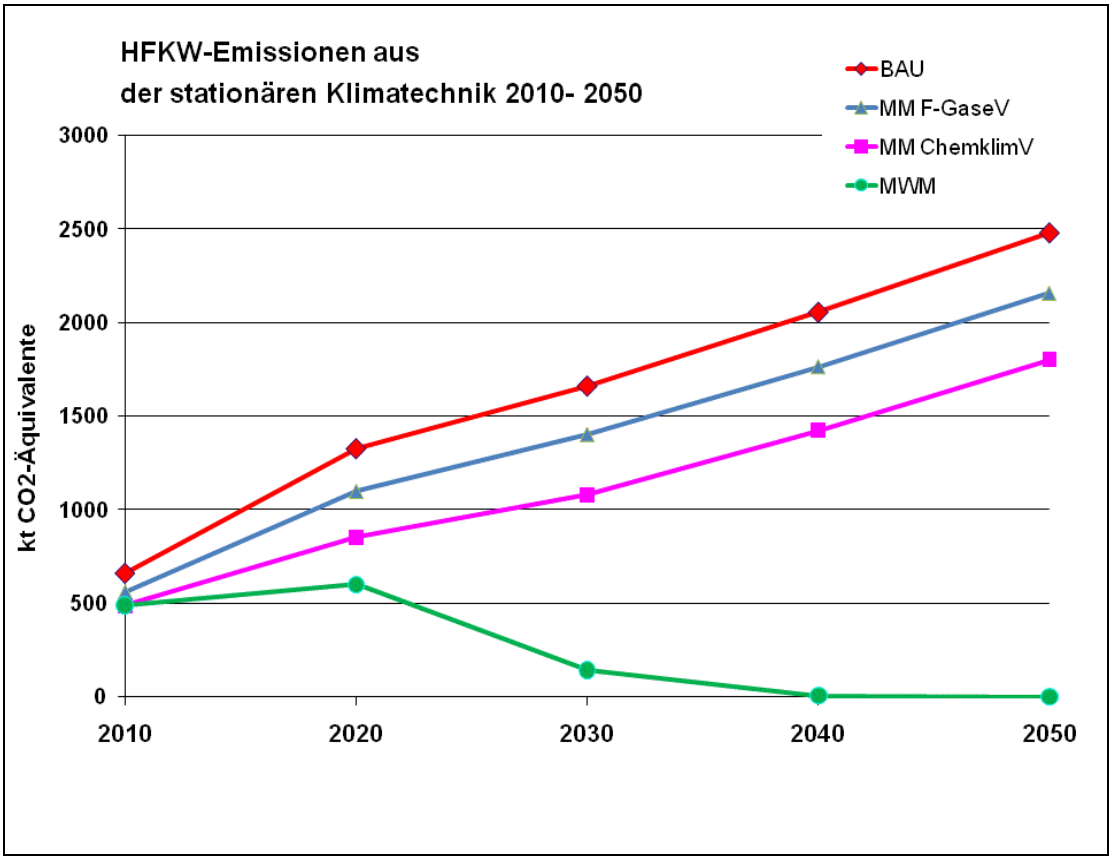


Abbildung 2: HFKW-Emissionen aus der stationären Klimatechnik im Zeitraum 2010 bis 2050.



4.2. HFKW-Emissionen aus dem Mobilklima-Sektor

Ausgangssituation und Projektion der Entwicklung des Fahrzeugbestandes

Die HFKW-Emissionen aus dem Sektor der mobilen Klimatechnik werden vorrangig durch Pkw-Klimaanlagen verursacht. Emissionen aus Klimaanlagen in Lkw, Bussen, Schienenfahrzeugen, landwirtschaftlichen Fahrzeugen, Schiffen haben derzeit einen Anteil von ca. 18 % an den Gesamtemissionen des mobilen Klimasektors. Als Kältemittel wird gegenwärtig ausschließlich HFKW-134a verwendet. Die Füllmengen für Kältemittel und Emissionsraten des Jahres 2008 werden in den Szenarien beibehalten. Die Emissionen setzen sich aus Fahrzeugart-spezifischen Bestandsemissionen und Entsorgungsemissionen zusammen. Der Emissionsfaktor der Entsorgung wird für die meisten Fahrzeugarten auf 30% geschätzt, für Schiffe und Schienenfahrzeuge werden keine Entsorgungsemissionen berechnet, weil Schiffe grundsätzlich im Ausland abgewrackt werden und für Schienenfahrzeuge erfolgreiche Rückgewinnung unterstellt werden darf.

Zur Abschätzung der HFKW-Emissionen aus dem mobilen Klimasektor werden für alle Szenarien die nachstehend aufgeführten Bestandsentwicklungen zu Grunde gelegt.

- **Pkw**

Da seit ca. 1995 eine starke Zunahme der Ausstattungsquote mit Klimaanlagen beobachtet wurde, die ab ca. 2016 bei über 96% des gesamten Pkw-Bestandes liegen wird, stellt die weitere Entwicklung des Pkw-Bestandes eine zentrale Größe für die Berechnung der Emissionen aus diesem Sektor dar.

Der derzeitige Bestand an Pkw umfasst über 41 Millionen Fahrzeuge (KBA, 01.01.2009), davon sind ca. 70% mit HFKW-134a-Klimaanlagen ausgestattet. Die Pkw-Dichte pro 1000 Einwohner wird weltweit nur noch von den USA übertroffen[23] und liegt derzeit bei ca. 552 Pkw[24]. Für die Bestandsentwicklung bis 2030 nehmen wir gemäß den Politikszenarien des UBA[25] weiteres Wachstum um jährlich 0,5% an. Für den Zeitraum 2030-2050 gehen wir von gleichbleibender Pkw-Dichte aus (597 Pkw je 1000 Einwohner), was jedoch bei sinkenden Bevölkerungszahlen einen Rückgang des Pkw-Bestandes mit sich bringt (Tabelle 12).

Tabelle 12: Projektion der Pkw-Bestandsentwicklung und Klimaquote in Deutschland bis 2050

	2009	2010	2020	2030	2050
Bestand	41 321 171	41 538 000	43 771 000	46 124 000	41 039 600
Klimaquote	70%	73%	87%	99%	99%

- **Lkw**

Trotz des prognostizierten Bevölkerungsrückgangs bis 2050 auf 74 Millionen Einwohner ist mittelfristig nicht mit einer Abnahme des Güterverkehrs zu rechnen[26]. Für den Bestand an

[23] Bundesregierung: Magazin für Infrastruktur und die neuen Länder Nr. 14, 06/2009.

[24] Statistisches Bundesamt: Bevölkerungsstand; Kraftfahrt-Bundesamt: PKW-Bestand 2009.

[25] Umweltbundesamt 2008: Politikszenarien für den Klimaschutz IV – Szenarien bis 2030.

[26] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Masterplan Güterverkehr und Logistik, September 2008.

Lkw (mit Sattelzugmaschinen) nehmen wir in Anlehnung an die Politikszenarien des UBA ein jährliches Wachstum von 0,9% bis 2020 und 0,6% für den Zeitraum 2020-2030 an. Für den Zeitraum 2030-2050 gehen wir aufgrund weitreichender Marktsättigung in Deutschland von nur noch geringem Wachstum von 0,1% aus. Die Klimaquote wird als langfristig konstant bei 60% angenommen (Tabelle 13).

Tabelle 13: Projektion der Lkw-Bestandsentwicklung und Klimaquote in Deutschland bis 2050

	2009	2010	2020	2030	2050
Bestand	2 523 561	2 546 273	2 784 945	2 956 626	3 016 324
Klimaquote	56%	60%	60%	60%	60%

- **Busse**

Der Bestand an Bussen wird sich im Zeitraum bis 2050 verringern, da die Pkw-Dichte steigt, die demographische Entwicklung zu sinkenden Schülerzahlen führt und der öffentliche Verkehr sich zunehmend auf die Schiene verlagert. Aufgrund des negativen Bestandsentwicklung der vergangenen Jahre (jährlich -1,4%; 2000-2009) nehmen wir an, dass sich bis 2020 der Bestand um jährlich 1% verringert, im Zeitraum 2020-2050 jedoch konstant bleibt (Tabelle 14).

Tabelle 14: Projektion der Bestandsentwicklung und Klimaquote von Bussen in Deutschland bis 2050

	2009	2010	2020	2030	2050
Bestand	75270	74517	67392	67392	67392
Klimaquote	86%	87%	87%	87%	87%

- **Landmaschinen**

Der Bestand an Landmaschinen (Ackerschlepper, Mähdrescher, Feldhäcksler) liegt seit 1995 nahezu konstant bei ca. 1,77 Millionen Fahrzeugen[27]. Zwar haben Exporte in europäische Nachbarländer und nach Übersee in den letzten Jahren zu kontinuierlichem Wachstum der inländischen Produktion von Landtechnik geführt[28], in der deutschen Landwirtschaft ist jedoch von Marktsättigung auszugehen. Daher nehmen wir weiterhin konstanten Bestand und konstante Klimaquote an. (Tabelle 15).

Tabelle 15: Projektion der Bestandsentwicklung und Klimaquote von landwirtschaftlichen Maschinen in Deutschland bis 2050

	2009	2010	2020	2030	2050
Bestand	1763514	1770000	1770000	1770000	1770000
Klimaquote	90%	90%	90%	90%	90%

[27] Kraftfahrtbundesamt: Statistik über Bestand an land-und forstwirtschaftlichen Zugmaschinen.
[28] VDMA Landtechnik 2009: Wirtschaftsbericht.

- **Schienenfahrzeuge**

Für den Bestand an Schienenfahrzeugen (Triebfahrzeuge, Reisewagen, Straßenbahnen, U-Bahnen) wird bis 2030 mit starkem Wachstum gerechnet[29], das durch die Verlagerung des öffentlichen Verkehrs auf die Schiene, den weiteren Ausbau des Streckennetzes und eine Steigerung des Transportverkehrs begründet werden kann. Für den Zeitraum bis 2030 nehmen wir jährliches Wachstum von 1,5% an. In den Jahren 2030-2050 wird sich das Wachstum stark abschwächen, da durch die verringerte Bevölkerungszahl und den demographischen Wandel der öffentliche Personenverkehr nur mehr wenig zunehmen wird. Wir rechnen mit einer Wachstumsrate von dann nur noch 0,2%. Aufgrund der erwarteten Umrüstung des Bestandes an Schienenfahrzeugen wächst der Ausstattungsgrad an Klimaanlagen rascher als der Bestand und wird ab 2040 auf 100% geschätzt.

Tabelle 16: Projektion der Bestandsentwicklung von Schienenfahrzeugen und Klimaquote in Deutschland bis 2050

	2009	**2010**	**2020**	**2030**	**2050**
Bestand	26487	26336	30564	35470	36916
Klimaquote	48%	50%	70%	90%	100%

- **Schiffe**

Die künftige Entwicklung der Seeschifffahrt und der Binnenschifffahrt wird durch erhöhtes Transportaufkommen sehr positiv eingeschätzt, vor allem im Bereich Seeverkehr[30]. Der Ausstattungsgrad an Klimaanlagen wird überproportional zunehmen und etwa im Jahr 2027 bei 100% liegen, da ältere Schiffe ohne Klimatisierung abgewrackt werden und alle neuen Schiffe über 100 BRT mit Klimaanlagen ausgerüstet sind. Daher wird die Wachstumsrate für alle klimatisierten Schiffstypen (Frachtschiffe, Passagierschiffe, Kreuzfahrtschiffe, Schiffe unter militärischer Nutzung, Binnenschiffe) für den Zeitraum bis 2027 auf 7,7% geschätzt. Für den anschließenden Zeitraum bis 2050 gehen wir nicht von weiterem Wachstum aus.

Tabelle 17 bezieht sich ausschließlich auf klimatisierte Schiffe und weist deshalb keine zusätzlichen Angaben zur Klimaquote auf.

Tabelle 17: Projektion der Bestandsentwicklung klimatisierter Schiffen in Deutschland bis 2050

	2009	**2010**	**2020**	**2030**	**2050**
Bestand	532	573	1203	2021	2021

[29] Umweltbundesamt 2008: Politikszenarien für den Klimaschutz IV – Szenarien bis 2030. Hier Annahme, dass die jährliche Wachstumsrate des Sektors bei 2,2% liegt.

[30] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2007): Seeverkehrsprognose 2025. http://www.bmvbs.de/Verkehr/Wasser-,1477/Seeverkehrs-prognose.htm

Mobilklima: BAU-Szenario

Das BAU-Szenario basiert auf der angeführten Bestandsentwicklung und integriert keine weiteren politischen Maßnahmen. Tabelle 18 fasst die HFKW-Emissionen aus dem Mobilklima-Sektor zusammen.

HFKW-Emissionen aus Pkw-Klimaanlagen stellen den größten Anteil der Emissionen im mobilen Klimasektor dar (2010: 72%) und werden in den nächsten Jahren weiter ansteigen. Ab dem Jahr 2017 werden ca. 99% des Pkw-Bestandes mit R-134a-Klimaanlagen ausgestattet sein. Im BAU-Szenario werden also ab 2020 HFKW-Emissionen durch nahezu den gesamten Pkw-Bestand verursacht.

Durch Bestandsrückgang ab 2030 infolge sinkender Bevölkerungszahlen und Ausbau des öffentlichen Verkehrs nehmen auch die HFKW-Emissionen aus Pkw-Klimaanlagen zwischen 2030 und 2050 ab, der relative Anteil an den Gesamtemissionen ändert sich jedoch kaum (2030: 77%, 2050: 75%).

HFKW-Emissionen aus Klimaanlagen in Lkw, Schienenfahrzeugen und Schiffen werden ebenso ansteigen, während die Emissionen aus Klimaanlagen von Landmaschinen konstant bleiben und Emissionen aus Klimaanlagen von Bussen entsprechend des erwarteten Bestandsrückgangs bis 2020 abnehmen.

Tabelle 18: HFKW-Emissionen*) (kt CO_2 eq.) aus dem Sektor Mobilklima (BAU-Szenario)

	2010	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Pkw	3080	4001	4638	4407	4126
LKW	318	348	369	373	376
Busse	168	152	152	152	152
Landmaschinen	630	630	630	630	630
Schienenfahrzeuge	19	29	41	62	64
Schiffe	48	100	168	168	168
TOTAL	**4263**	**5260**	**5998**	**5792**	**5516**

*) Summe aus Bestands- und Entsorgungsemissionen.

Mobilklima: Szenario „mit Maßnahmen“

Das Szenario „mit Maßnahmen“ basiert auf der angeführten Bestandsentwicklung. Im Gegensatz zum BAU-Szenario wird die EU-Richtlinie 2006/40/EG[31] integriert, sie hat Einfluss auf den Emissionsverlauf, da sie den Einsatz fluorierter Treibhausgase mit einem GWP > 150 in Pkw-Klimaanlagen nach 2011/2017 verbietet.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass die HFKW-134a Emissionen aus Pkw-Klimaanlagen erst nach 2020 deutlich sinken, da ein Kältemittelaustausch in allen bestehenden Fahrzeugen derzeit nicht vorgesehen ist.

Zunächst hatte die Autoindustrie das natürliche Kältemittel CO_2 favorisiert. Derzeit ist ein fluoriertes Hydro-Olefin (HFO), das HFKW-1234yf[32] angekündigt. Die Substanz ist deutlich aufwendiger in der Herstellung als HFKW-134a (und als CO_2).. HFKW-1234yf wird als Variante des MM-Szenarios als Ersatz für HFKW-134a in neuen Pkw-Klimaanlagen angenommen. Die Emissionsfaktoren und Kältemittelfüllmengen für 1234yf sind die gleichen wie im BAU-Szenario für HFKW-134a.

Bei gleicher Bestandsentwicklung werden zum Vergleich die Emissionen mit CO_2 als Ersatzkältemittel für HFKW-134a in neuen Pkw-Klimaanlagen berechnet und in Tabelle 19 gesondert ausgewiesen. Die Emissionsfaktoren für CO_2 entsprechen denen von R134a, die Füllmengen liegen geringer bei 200 g bis maximal 400 g. Die bei CO_2-Anlagen geringeren Füllmengen, die zu geringeren Emissionen führen, wurden bei den Berechnungen allerdings nicht berücksichtigt.

Die Emissionen aus Klimaanlagen in Lkw, Bussen, Landmaschinen, Schienenfahrzeugen und Schiffen verändern sich in diesem Szenario gegenüber dem BAU-Szenario nicht.

Tabelle 19: HFKW-Emissionen* (kt CO_2 eq.) aus dem Sektor Mobilklima bei Einführung von HFKW-1234yf bzw. CO_2 als Kältemittel ab 2011 (MM-Szenario)

	2010	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Pkw (mit 1234yf)	3080	1323	14	14	13
*Pkw (mit CO_2)***	*3080*	*1317*	*4*	*3*	*3*
LKW	318	348	369	373	376
Busse	168	152	152	152	152
Landmaschinen	630	630	630	630	630
Schienenfahrzeuge	19	29	41	62	64
Schiffe	48	100	168	168	168
TOTAL	**4263**	**2582**	**1374**	**1399**	**1403**

* Summe aus Bestands- und Entsorgungsemissionen.** Zeile nicht in der Summe enthalten

[31] EU-Richtlinie 2006/40/EG über Emissionen aus Klimaanlagen in Kraftfahrzeugen: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:161:0012:0018:DE:PDF

[32] Es handelt sich um einen HFKW mit einer Doppelbindung im Molekül, die einen raschen Zerfall in der Atmosphäre ermöglicht. Kehrseite der chemischen Instabilität ist die Brennbarkeit des Gases.

Bei gleicher Bestandsentwicklung wie im BAU-Szenario werden die Emissionen aus dem Mobilklima-Sektor bis 2020 auf 2582 kt CO_2 eq. (BAU: 5260 kt CO_2 eq.) und bis 2050 auf 1403 kt CO_2 eq. (BAU: 5516 kt CO_2 eq.) reduziert.

Im Jahr 2050 entspricht dieser Wert im Vergleich zum BAU-Szenario einer Verringerung der projizierten Emissionen von über 4 MT CO_2 eq.

Mobilklima: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“

Das Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ basiert auf der gleichen Bestandsentwicklung der Fahrzeuge. Die HFKW-Emissionen aus Pkw-Klimaanlagen verändern sich in diesem Szenario gegenüber dem MM-Szenario nicht mehr.

Als zusätzliche Maßnahmen sind in diesem Szenario die Substitution von HFKWs in mobilen Klimaanlagen durch Kältemittel mit GWP < 150 für alle Fahrzeugtypen und mobilen Anwendungen vorgesehen. Dies entspricht einer bisher nicht erfolgten Ausweitung der EU-Richtlinie 2006/40/EG auf alle Fahrzeugtypen.

Für verschiedene Fahrzeugarten ist der Zeitpunkt, an dem der jeweilige Fahrzeugbestand komplett mit Kältemittel mit GWP < 150 ausgestattet sein wird, unterschiedlich, da sich auch die mittlere Lebensdauer[33] unterscheidet. Bei Fahrzeugarten mit langer Lebensdauer (Schienenfahrzeuge, Schiffe) ist daher im Zeitraum bis 2050 nicht mit einer kompletten Umstellung auf ein Kältemittel mit GWP < 150 zu rechnen. Auch im Jahr 2050 entstehen also noch HFKW-Emissionen aus den letzten Jahrgängen von Fahrzeugen mit HFKW-Klimaanlagen, sofern kein Ersatz des Kältemittels im Bestand stattfindet.

Als Ersatz für HFKW-134a in Nicht-Pkw wurde hier CO_2 sowie der HFKW-1234yf angenommen. Für die stufenweise Umstellung auf ein Ersatzkältemittel in Klimaanlagen von Neufahrzeuge wurde der Zeitraum 2017-2023 angesetzt[34]. (Tabelle 20) Dadurch sich ergebende Änderungen in den Füllmangen wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle 20: HFKW-Emissionen* (kt CO_2 eq.) aus dem Sektor Mobilklima bei allgemeiner Einführung von HFKW-1234yf oder CO_2 als Kältemittel ab 2011 (MWM-Szenario)

	2010	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Pkw (mit 1234yf)	3080	1323	14	14	13
*Pkw (mit CO_2)***	3080	1317	4	4	3
Lkw	318	299	1,2	1,2	1,2
Busse	168	135	0,5	0,5	0,5
Landmaschinen	630	548	36	1,9	1,9
Schienenfahrzeuge	19	29	22	17	2
Schiffe	48	89	76	75	12
TOTAL	**4263**	**2423**	**150**	**110**	**31**

* Summe aus Bestands- und Entsorgungsemissionen.** Zeile nicht in der Summe enthalten

[33] Mittlere Lebensdauer: Pkw 12 Jahre, LKW 10 Jahre, Busse 12 Jahre, Landmaschinen 10 Jahre, Schienenfahrzeuge 30 Jahre, Schiffe 30 Jahre.

[34] 2017: 10% der Neufahrzeuge mit Klimaausstattung, 2018: 25%, 2019: 40%, 2020: 55%, 2021: 70%, 2022: 80%, 2023: 95%.

Die Emissionen aus dem Sektor Mobilklima reduzieren sich in diesem Szenario ab 2030 deutlich und liegen im Jahr 2050 nur noch bei ca. 31 kt CO_2 eq. Im Vergleich zum MM-Szenario entspricht dies einer weiteren Emissionsreduktion um bereits ca. 1224 kt CO_2 eq. im Jahr 2030 und 1362 kt CO_2 eq. im Jahr 2050.

In den grafischen Illustrationen des Mobilklima-Szenarios in dieser Studie stellen wir nur die CO_2-Variante dar, weil sie die am weitesten gehende Lösung ist.

Übersicht der Emissionen aus Mobilklima bis 2050 in verschiedenen Szenarien

Nachstehende Tabelle 22 stellt die HFKW-Gesamtemissionen aus dem Mobilklima-Sektor in den Szenarien BAU, MM und MWM bei gleicher Bestandsentwicklung bis zum Jahr 2050 in der Übersicht dar. Weiterhin sind die Potentiale für Emissionsreduktionen im Vergleich zum vorhergehenden Szenario angegeben.

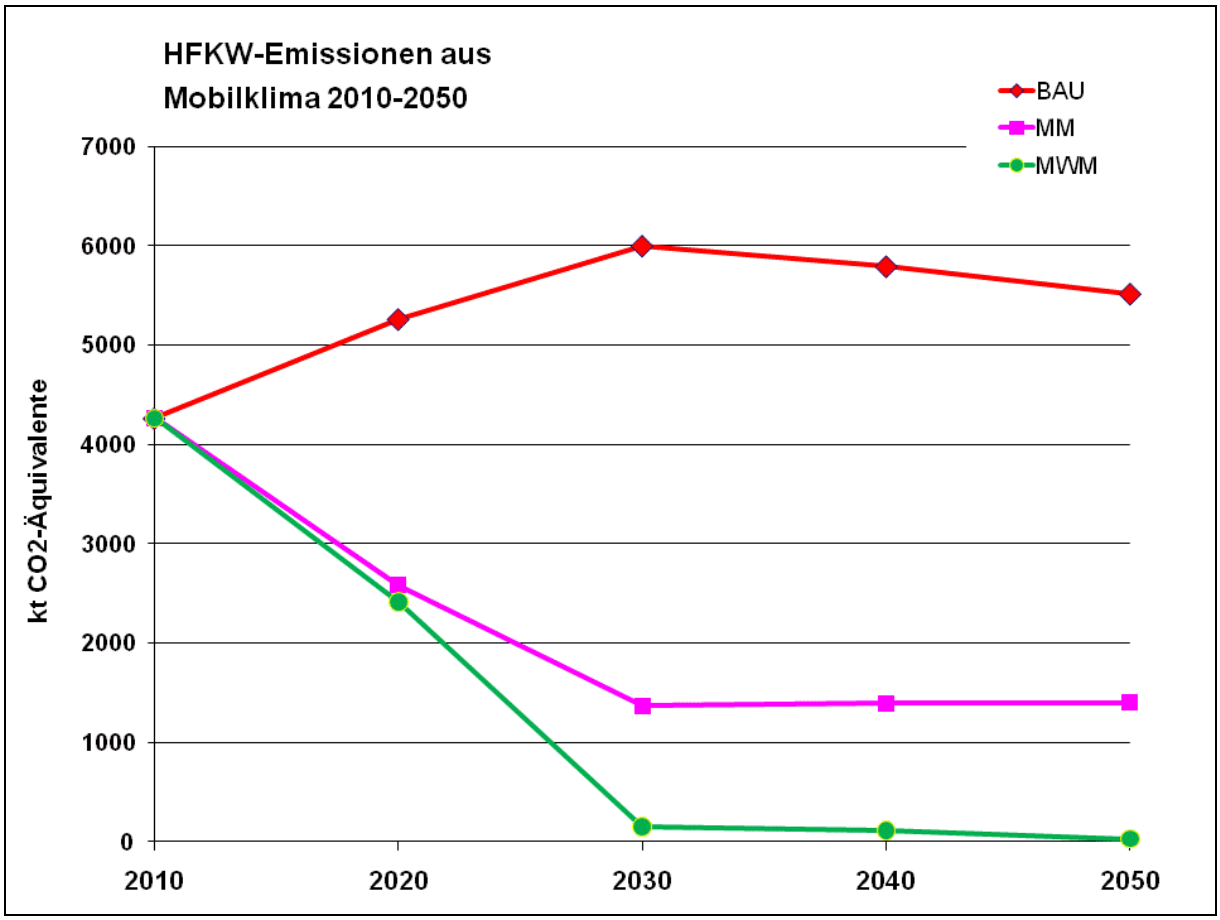
Tabelle 22: F-Gas-Emissionen bis 2050 aus dem Sektor Mobilklima nach den drei Szenarien

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Szenario BAU	4263	5260	5998	5792	5516
Szenario MM					
Variante CO_2	4263	2576	1364	1388	1393
Differenz zu BAU	*0*	*-2684*	*-4634*	*-4404*	*-4123*
Szenario MWM					
Variante CO_2	4263	2417	139	98	18
Differenz zu MM	*0*	*-159*	*-1225*	*-1290*	*-1375*

Die Übersicht zeigt, dass sich bereits durch die Maßnahmen des MM-Szenarios die HFKW-Emissionen langfristig deutlich sinken Darüber hinaus erlaubt das MWM-Szenario, die HFKW-Emissionen noch weiter auf 18 kt CO_2 eq. im Jahr 2050 zu senken.

Abbildung 3 stellt die HFKW-Emissionen aus dem Mobilklima-Sektor zusammengefasst dar.

Abbildung 3: HFKW-Emissionen aus dem Mobilklima-Sektor gemäß den beschriebenen Szenarien.



4.3. HFKW-Emissionen aus dem Schaum-Sektor (ohne Montageschaum)

Der Schaumsektor wird für die Produktgruppen XPS Dämmschaum und PU Hart-und Integralschaum getrennt betrachtet. Montageschäume werden im folgenden Kapitel behandelt.

Ausgangssituation und Trends – XPS Dämmschaum

Seit Ablösung der HFCKW-Treibmittel durch HFKW im Jahr 2001 ist aufgrund der Herstellung von Dämmplatten aus extrudiertem Polystyrol (XPS) der Schaumsektor zum Sektor mit den höchsten Emissionen geworden. Die Menge des HFKW-134a, der bei der Herstellung zu ca. 30% in die Atmosphäre entweicht, ist bis 2008 allerdings um etwa 20% zurückgegangen. Der Einsatz von HFKW-152a, der bei der Herstellung vollständig emittiert (er wird nicht als Zellgas für die Nutzphase verwendet, sondern dient der Erzeugung feinerer Zellstrukturen), ist seit 2001 noch stärker gesunken. Aufgrund des niedrigeren GWP des HFKW-152a von 140 schlägt sich dieser Rückgang nur gering in den klimawirksamen HFKW-Emissionen des Sektors nieder.

Schaumsektor: BAU-Szenario – XPS Dämmschaum

Im BAU-Szenario wird nicht mit einem Anstieg der HFKW-Verwendung für XPS-Platten gerechnet, sondern mit Konstanz. Zuwächse der inländischen Produktion sowie Neuanwendung werden ausschließlich mit natürlichen Treibmitteln, insbesondre CO_2, angenommen. Die Emissionen aus der Herstellung bleiben bis 2050 bei 548 kt CO_2 eq. Die Bestandsemissionen von HFKW-134a (Emissionsfaktor 0,66%) steigen von 2008 bis 2050 um x%. Bei 50 Jahren Lebensdauer wird erst nach 2050 mit Entsorgungsemissionen gerechnet. (Tabelle 23)

Da es keine gesetzliche F-Gas-Regulierung für XPS gibt, wird kein MM-Szenario aufgestellt.

Schaumsektor: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ – XPS Dämmschaum

Im Szenario MWM nehmen wir an, dass zwischen 2010 und 2020 (hier 2015) keine HFKW mehr zur Herstellung von XPS-Platten eingesetzt werden. Damit entfallen alle Herstellemissionen, und die Bestandsemissionen bleiben auf dem Niveau des Jahres 2014 (29 kt CO_2 eq.). (Tabelle 23)

Ausgangssituation und Trends – PU-Hart- und Integralschaum

Für PU-Hartschaum werden seit 2002 die flüssigen HFKW-365mfc und HFKW-245fa eingesetzt. Gemessen an den 1990er Jahren ist der Verbrauch fluorierter Treibmittel gering, weil potenzielle Anwender nach sukzessiven Verboten von FCKW und HFCKW nur in wenigen Teilbereichen bei fluorierten Treibmitteln geblieben sind und ansonsten auf Kohlenwasserstoffe umgestellt haben.

HFKW werden vor allem dort benutzt, wo schwere Entflammbarkeit der Treibmittel gefordert wird, wie bei der offenen Anwendung im Spritzschaum. Der jährliche Verbrauch für die beiden HFKW ist relativ konstant (Emissionsrate PU-Dämmstoffe 15% bei Herstellung; 100% Emissionsrate bei Herstellung von Integralschaum). Die Emissionen liegen bei ca. 231 kt CO_2 eq.

Schaumsektor: BAU-Szenario – PU Hart- und Integralschaum

Im BAU-Szenario wird, wie beim XPS-Schaum, nicht mit einem Anstieg der HFKW-Verwendung für PU-Hart- und Integralschaum gerechnet, sondern mit gleich bleibendem Niveau. Zuwächse der inländischen Produktion sowie Neuanwendung werden ausschließlich mit natürlichen Treibmitteln (insbes. Pentan) realisiert. Das ist im Übrigen auch die Auffassung der UNEP-Experten zum globalen Markt[35].

Die Emissionen von HFKW-365mfc/ HFKW-245fa aus der Herstellung von Hart- und Integralschaum bleiben bis 2050 konstant. Die beiden Stoffe werden aus Geheimhaltungsgründen nicht getrennt aufgeführt, sondern mit einem gemeinsamen GWP (1650) bedacht. Dazu kommen noch Emissionen aus der Produktion von Integralschaum. Die Bestandsemissionen (Emissionsfaktor 1%) steigen von 2008 bis 2050 auf das Dreifache. Bei 50 Jahren Lebensdauer in der Gebäudeanwendung kommt Entsorgung erst nach 2050 in signifikanter Größenordnung vor. (Tabelle 23)

Auch der Einsatz von fluorierten Treibhausgasen in PU-Hart- und Integralschaum unterliegt bisher keiner Regulierung. Darum entfällt ein Mit-Maßnahmen-Szenario.

Schaumsektor: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ – PU Hart- und Integralschaum

Im MWM-Szenario unterstellen wir Totalverzicht auf HFKWs ab 2015. Integralschaum wird bereits heute zum größten Teil ohne HFKW hergestellt, lediglich die Umstellungskosten verhindern bisher den technisch möglichen vollständigen Ersatz.

Auch der verbliebene Kernbereich der HFKW-Anwendung bei Hartschaum, nämlich der Spritzschaum, kann technisch bereits heute ohne HFKW auskommen. Das belegt im Übrigen die Erklärung der japanischen PU-Industrie zum Verzicht auf HFKW für Spritzschaum ab August 2010.[36] Ohne HFKW-Neuanwendung ab 2015 entfallen alle Herstellemissionen und die Bestandsemissionen bleiben auf dem Niveau von 2014 bei 38 kt CO_2 eq.

Die Gegenüberstellung der BAU-Szenarien und MWM-Szenarien für die beiden Kategorien des Schaumsektors zeigt eine mögliche Reduktion der Emissionen von 1047 kt CO_2 eq auf 67 kt CO_2 eq. im Jahr 2050. Das entspricht einem Emissionsrückgang um fast 94%.

[35] UNEP (United Nations Environment Programme) 2006: Report of the rigid and flexible foams technical options committee (FTOC).

[36] Japan Urethane Industries Institute (JUII): “Phase-out of hydro fluorocarbons (HFC) as a blowing agent of Polyurethane (PU) rigid spray foam for the residential building insulation” by the end of August, 2010; press release 26th January 2010.

Tabelle 23: F-Gas-Emissionen bis 2050 aus den Schaumsektoren nach den Szenarien BAU und MWM (ohne Montageschaum)					
kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
XPS					
Szenario BAU					
Herstellung	548	548	548	548	548
Bestand	21	40	59	78	97
Szenario MWM					
Herstellung	548	-	-	-	-
Bestand	21	29	29	29	29
Differenz zu BAU	*0*	*-559*	*-578*	*-597*	*-616*
PU-Hartschaum					
Szenario BAU					
Herstellung	231	231	231	231	231
Bestand	38	71	104	137	170
Szenario MWM					
Herstellung	231	-	-	-	-
Bestand	21	38	38	38	38
Differenz zu BAU	*0*	*-264*	*-297*	*-330*	*-363*

4.4. HFKW-Emissionen aus Montageschaum

Der Montageschaum wird hier gesondert behandelt, weil er der einzige Schaumsektor ist, der der F-Gas-Verordnung (EC) 842/2006 unterliegt[37].

Ausgangssituation und Trends

Die Emissionen aus der Anwendung von PU-Montageschaum, der bis 2000 größten einzelnen Emissionsquelle von HFKW in Deutschland überhaupt, sind seit vielen Jahren rückläufig, obwohl die Zahl der jährlich verkauften Dosen mit ca. 25 Mio. Stück annähernd konstant geblieben ist. Hintergrund ist der Jahr für Jahr verminderte HFKW-Gehalt im Treibmittelgemisch zugunsten umweltfreundlicherer und preisgünstigerer brennbarer Gase.

Die EU F-Gase-Verordnung enthält ein Verkaufsverbot für Montageschaum mit dem Treibmittel HFKW-134a ab Juli 2008 bis auf einen Rest, der zur Einhaltung nationaler Sicherheitsnormen erforderlich ist[38] (Bergbau). Sämtliche Abfüller, die den deutschen Markt beliefern, erfüllten Anfang 2010 mit Treibgasgemischen mit GWP < 150 die in Deutschland geforderte Baustoff-Brandklasse B 2 für ihre gesamte Produktpalette.[39.] Einige Abfüller machen von der GWP-150-Regelung der F-Gas-Verordnung Gebrauch und mischen dem Treibmittel den HFKW-134a im Umfang von etwa 10% bei.

Montageschaum: BAU-Szenario

Das Szenario ist insofern fiktiv, weil es die Frage stellt, wie sich die Emissionen langfristig ohne die F-Gase-Verordnung entwickelt hätten.

Die Basis der Abschätzung ist für uns die inländische HFKW-Verwendung im letzten Kalenderjahr vor dem Verbot im Juli 2008, mithin die Menge des Jahres 2007. Sie belief sich auf 470 t (davon 450 t HFKW-134a, 20 t HFKW-152a). Das war gegenüber den 1400 t im Jahr 2000 ein Rückgang um zwei Drittel. Das BAU-Szenario nimmt an, dass die 470 t bzw. 588 kt CO_2 eq. bis 2050 unverändert bleiben. (Tabelle 24)

---

[37] Eine ausführliche Darstellung der aktuellen HFKW-Anwendung bei Montageschaum findet sich im Gutachten für das Umweltbundesamt (FKZ 363 01 196) „HFKW-haltige Treibgase in PU-Montageschaum. Bewertung der Emissionsreduktions-potenziale von Montageschäumen im Hinblick auf eine Konkretisierung der Regelungen nach §9(1) der Verordnung (EG) 842/2006“. Verfasser: Öko-Recherche. Dessau, Januar 2009. Reihe Climate Change, 10/2009.

[38] Aus dem Verordnungstext ergibt sich nur ein Verbot für Treibmittelgemische (Zubereitungen) mit einem GWP > 150. Damit ist die Verwendung von HFKW als Komponente in Mischungen („preparations“) weiterhin gestattet. Unter "preparations" ist die gesamte Treibmittelmenge pro Dose gemeint, d.h. die Gesamtheit des Gemischs aus brennbaren Gasen und HFKW. Wenn dieses Gemisch einen GWP von 150 nicht überschreitet, ist eine Zugabe des HFKW-134a (bis ca. zehn Prozent) nicht verboten. Diese Bestimmung macht im Übrigen auch die Wiederverwendung von nicht genutzten HFKW-134a-haltigen Treibmitteln, die aus gebrauchten Dosen zurück gewonnen werden, möglich. Diese Rückgewinnung wird in Deutschland seit mehreren Jahren praktiziert.

[39] Zu Einzelheiten der Umstellung auf brennbare Treibmittel sowie zu den aus Sicherheitsgründen noch erlaubten HFKW-Restmengen siehe das Gutachten für das Umweltbundesamt, op. cit.

Montageschaum: Szenario „mit Maßnahmen“

Das Szenario „mit Maßnahmen“ schließt das Verwendungsverbot von HFKW in PU-Montageschäumen ab Juli 2008 ein.

Ab 2009 kommen daher nur noch zwei Arten von HFKW-Restmengen bei der inländischen Anwendung vor. Erstens die aus Sicherheitsgründen im Bergbau verwendeten Dosen mit reinem HFKW-134a-Treibmittel im Umfang von etwa 1,5 t[40]. Zweitens die HFKW-Bestandteile in den erlaubten Treibgasgemischen mit GWP < 150. Gegenwärtig sind es zwei Spezifikationen, die von einigen Herstellern mit Anteilen von HFKW-134a oder HFKW-152a angeboten werden: Mega-Schaum und Brandschutzschaum.

Aus den Marktanteilen dieser Spezifikationen und den Marktanteilen ihrer Anbieter lässt sich abschätzen, dass zurzeit jährlich ca. 0,5 Mio. Dosen Mega-Schaum mit HFKW-152a sowie 0,5 Mio. Dosen Mega-Schaum und 0,2 Mio. Dosen Brandschutzschaum mit HFKW-134a verkauft werden. Bei HFKW-Gehalten von 15 Gramm im Falle von HFKW-134a und 60 Gramm im Falle von HFKW-152a (je 750 ml-Dose), errechnen sich gesamte Anwendungsemissionen von 30 t HFKW-152a und 10,5 t HFKW-134a. Insgesamt emittieren auf diese Weise jährlich HFKW im Umfang von 20 kt CO_2 eq. (Tabelle 24)

Montageschaum: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“

Als zusätzliche Maßnahme wird der Verzicht der Abfüller für den deutschen Markt auf HFKW in den Treibmittelgemischen angenommen.

Einige Hersteller können bereits heute mit ausschließlich halogenfreien Gasen die gewünschte Schaumqualität erzielen, ab 2015 sollten alle Abfüller dazu in der Lage sein. Darum bleibt langfristig nur die sicherheitsrelevante Anwendung von HFKW-134a im Steinkohlenbergbau bestehen, was zu konstanten jährlichen HFKW-Emissionen von ca. 2 kt CO_2 eq. führen wird.

Tabelle 24: F-Gas-Emissionen bis 2050 aus der Anwendung von Montageschaum nach den Szenarien BAU, MM und MWM

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Szenario BAU	588	588	588	588	588
Szenario MM	20	20	20	20	20
Differenz zu MM	*568*	*568*	*568*	*568*	*568*
Szenario MWM	2	2	2	2	2
Differenz zu MM	*18*	*18*	*18*	*18*	*18*

[40] Siehe Gutachten für das Umweltbundesamt, a.a.O. S. 33 ff.

4.5. HFKW-Emissionen aus Dosieraerosolen

Ausgangssituation und Trend

Bis 2002 wurden mehr als die Hälfte der medizinische Dosieraerosole (Metered Dose Inhalers – MDI) mit FCKW und danach HFKW durch treibgasfreie Pulverinhalatoren ersetzt. Seitdem liegen die HFKW-Emissionen aus der Anwendung von Asthmasprays relativ konstant bei 200 t jährlich, davon 180 t HFKW-134a und 20 t HFKW-227ea. Die Versorgung der Bevölkerung mit diesen Medikamenten gilt als ausreichend, so dass quantitative Veränderungen der MDI-Anwendung nur im Zusammenhang mit der Erkrankungshäufigkeit („Prävalenz“) stattfinden dürften.

Wir gehen von einer langfristigen Zunahme der Prävalenz um 0,5% jährlich aus. Da die Bevölkerung der Bundesrepublik bis 2050 auf 91% des Standes von 2008 sinken dürfte (siehe „grundlegende Annahmen“ in Kap. 2 dieser Studie), kommt es per Saldo nur zu einem geringen Anstieg der durch Inhalation angewendeten HFKW-Menge bis 2050 (+ 11 v.H.), sofern es keine Verschiebung des Verhältnissen zwischen Pulverinhalatoren und MDI-Sprays gibt. Generell gilt die Annahme, dass die HFKW-Menge in den jährlich verkauften MDIs zu 100% emittiert.

Dosieraerosole: BAU-Szenario

Im BAU Szenario wird der vorstehend beschriebene Trend bis 2050 fortgeschrieben. Er gründet auf folgenden Parametern:

1. Konstanter MDI-Anteil von 45% an der inhalativen Asthmatherapie;
2. Gleichbleibende Treibmittelaufteilung zwischen HFKW-134a und HFKW-227ea;
3. Anstieg der Asthma-Prävalenz um jährlich 0,5%;
4. Rückgang der Bevölkerung bis 2050 um 9%.

Daraus ergibt sich ein Anstieg der HFKW-Verwendung bis 2040 auf den Wert 229 t (337 kt CO_2-Äquivalent), der sich bis 2050 wieder leicht erniedrigt (225 t).

Da es keine gesetzliche Regulierung zu F-Gasen in Dosieraerosolen gibt, wird kein MM-Szenario aufgestellt.

Dosieraerosole: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“

Im Szenario MWM nehmen wir an, dass innerhalb von zehn Jahren der Anteil der Pulverinhalation oder vergleichbar umweltfreundlicher Applikationssysteme von gegenwärtig 55% auf 90% ansteigt. Dieser Zielwert ist in Skandinavien (Schweden) bereits seit vielen Jahren allein durch Pulverinhalatoren Realität. Nach heutigem Kenntnisstand stehen einem vollständigen Ersatz von Dosieraerosolen durch andere Darreichungsformen Applikationsprobleme bei bestimmten Patientengruppen (u. a. Kleinkindern) entgegen.

Die genannten weiteren Maßnahmen zur Substitution von HFKW-getriebenen Dosieraerosolen durch umweltfreundlichere Darreichungsformen bewirken bis 2050 eine jährliche Verminderung der HFKW-Emissionen gegenüber dem BAU-Szenario um 258 kt CO_2-Äquivalente bzw. um 78%.

Tabelle 25: F-Gas-Emissionen bis 2050 aus der Anwendung von Dosieraerosolen nach den Szenarien BAU und MWM					
kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Szenario BAU	299	319	324	337	332
Szenario MWM	67	70	72	75	74
Differenz zu MWM	*233*	*246*	*252*	*262*	*258*

4.6. HFKW-Emissionen aus technischen Aerosole, Novelties und Lösemitteln

Die Emissionen aus nichtmedizinischen Aerosolen waren bereits 1995 niedrig – gemessen an historischen Mengen Ende der 1970er Jahre. Mit diesen Aerosolen sind heute nur noch einige technische Sprays wie Kälte- und Druckluftsprays (Haupteinsatzgebiet Elektronik und Optik) und einige Insektensprays (Einsatz Luftfahrt), aber auch ein so genannter Haushalts-Rohrreiniger gemeint. Dazu kommen so genannte "Novelties". Letztere umfassen Dekorationssprays und Spaßprodukte, wie z.B. Signalhörner oder Luftschlangensprays.

Das Inverkehrbringen von HFKW-haltigen Novelties ist seit dem 4. Juli 2009 durch die EU F-Gase-Verordnung verboten. Im Vorgriff darauf haben die knapp zehn europäischen Abfüller (alle im Ausland) seit einigen Jahren die Treibgasgemische auf geringere HFKW-Gehalte hin umformuliert, so dass sie ab Mitte 2009 die EU-Vorschrift von maximal GWP 150 für „Zubereitungen“ erfüllen. Der Anteil von ca. 10% HFKW-134a im Treibgas ist nach Auskunft des europäischen Branchenverbands FEA[41] erforderlich, um bei der Anwendung die Entzündlichkeit zu reduzieren. Gleichzeitig wurden in Deutschland viel weniger Sprays für künstlichen Schnee oder Luftschlangen verkauft, auch wenn der Abwärtstrend im Jahr 2006 vorübergehend wegen der Fußball-Weltmeisterschaft aufgehalten worden war, die einen Absatzanstieg von Signalhörnern ausgelöst hatte. Die HFKW-Menge in Novelties auf dem deutschen Markt (Verkauf = Emission) betrug in 2008, dem letzten Kalenderjahr vor dem Verbotsjahr, noch 15 t HFKW-134a.

Obwohl HFKW in technischen Aerosolen wie Kälte- oder Druckluftsprays zur Anwendung bei der Reparatur elektrischer und elektronischer Teile nicht verboten wurden, konnte in Deutschland auch hier ansatzweise HFKW-Ersatz durch brennbare Treibmittel festgestellt werden. Die HFKW-Mengen gingen von 2004 bis 2008 von 175 t auf etwas weniger als 155 t (HFKW-134a) zurück. Das entspricht dem europäischen Gesamttrend der letzten Jahre.

Allerdings blieb auch 2008 die HFKW-Menge für den größten Einzelposten der "anderen" Aerosole unverändert hoch: etwa 30 t für ein so genanntes Haushaltsspray gegen Rohrverstopfung. Für diesen Rohrreiniger wird HFKW-134a eingesetzt, damit sich im Rohr

[41] Fachgespräch von Öko-Recherche beim Europäischen Aerosolverband FEA in Brüssel am 16.4.2010. Teilnehmer: Alain D’Haese (Secretary General), Virginie Fourneau (HFC working group), Barbara Gschrey und Winfried Schwarz (Öko-Recherche).

keine explosiblen Gase bilden. Selbst in Abfüllerkreisen gilt diese Anwendung, die zu erheblichem Teil in die USA exportiert wird, als umstritten.

HFKW-Lösemittel (HFKW-43-10mee) in industriellen Oberflächenreinigungsanlagen sind von marginaler Bedeutung, weil die deutsche Gesetzgebung gegenüber halogenierten Vorläuferprodukten bereits vor der HFKW-Markteinführung zu einer breiten Palette von Alternativen geführt hatte. Deswegen und aus Gründen der Vertraulichkeit werden HFKW-Lösemittel unter „Allgemeine Aerosole“ mitgeführt.

Technische Aerosole etc.: BAU-Szenario

Im BAU-Szenario wird nicht mit einem Wiederanstieg des HFKW-Einsatzes gerechnet. Wir gehen davon aus, dass der inländische Verbrauch für alle drei Produktgruppen langfristig auf dem Niveau des Jahres 2008 bleibt.

Die HFKW-Gesamtemissionen aus der Anwendung von technischen Aerosolen, Novelties und Lösemittel werden im BAU-Szenario im Zeitraum 2008-2050 auf jährlich 222 kt CO_2 eq. geschätzt. (Tabelle 26)

Technische Aerosole etc.: Szenario „mit Maßnahmen“

Die EU F-Gase-Verordnung sieht nur für HFKW in Novelties gesetzliche Maßnahmen vor, nämlich ein Verkaufsverbot ab 4. Juli 2009. Die effektiven HFKW-Emissionen sinken dadurch ab, allerdings nicht auf Null, weil HFKW als Komponente im Treibgas enthalten sein dürfen, solange dessen GWP unterhalb 150 liegt.

Für Deutschland schätzen wir die auf diese Weise noch emittierende Menge von HFKW-134a aus den beiden anderen Produktgruppen auf 2-3 t jährlich (2,6 - 3,4 kt CO_2 eq.). Im MM-Szenario sind die Gesamtemissionen dadurch langfristig um ca. 16 kt CO_2 eq. oder 7% niedriger als im BAU-Szenario.

Technische Aerosole etc.: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“

Als weitergehende Maßnahme kommt für Lösemittel der technisch längst fällige Totalverzicht auf HFKW in Frage[42]. Auch Novelties, sofern diese technisch erforderlich sind, könnten innerhalb weniger Jahre auch ohne HFKW-Komponente im Treibmittel auskommen – vergleichbar den Treibmitteln für Montageschaum. Bei technischen Aerosolen dürften nach einer Überprüfung ihrer Anwendungen nur wenige übrig bleiben, die tatsächlich schwere Entflammbarkeit des Treibmittels verlangen, wie etwa bestimmte Sprays für den Flugverkehr. Das Haushaltsspray gegen Rohrverstopfung gehört sicher nicht zu den unverzichtbaren Anwendungen.

Wir schätzen die noch erforderliche Menge von HFKW-134a auf maximal 20 t jährlich, was etwa 26 kt CO_2 eq. entspricht (Tabelle 26). Ab 2020 könnten die HFKW-Emissionen langfristig auch unter 26 kt CO_2 eq. liegen.

[42] Der Hersteller des HFKW-43-10mee gab jüngst bekannt, als Alternative ein neues Lösemittel vermarkten zu wollen, das ein GWP < 10 aufweist. (Mitteilung an ÖR, 21.4.2010).

Tabelle 26: F-Gas-Emissionen bis 2050 aus der Anwendung von technischen Aerosolen, Novelties und Lösemitteln nach den Szenarien BAU, MM und MWM					
kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Szenario BAU	222	222	222	222	222
Szenario MM	206	206	206	206	206
Differenz zu MM	*16*	*16*	*16*	*16*	*16*
Szenario MWM	206	26	26	26	26
Differenz zu MM	*0*	*180*	*180*	*180*	*180*

4.7 HFKW-Emissionen aus Feuerlöschmitteln

Ausgangssituation und Trends

Bei Feuerlöschmitteln, dem ehemals großen Anwendungsbereich der Ozonschicht zerstörenden Halone, spielen HFKW wie HFKW-227ea, -236fa und der seit 2005 neu eingesetzte HFKW-23 insgesamt eine untergeordnete Rolle. Für den Brandschutz von Rechenzentren, Archiven u. dgl., wo „saubere“ Löschungen, mithin gasförmige Löschmittel, gefordert sind, werden meistens Inertgase eingesetzt.

Allerdings sind in relativ kleinen Räumen (< 500 m^3) chemische Löschmittel häufig die preiswertere Lösung. Darunter hat der HFKW-227ea (FM-200; MX-200) bisher die größte Marktbedeutung, auch wenn an seiner Stelle zunehmend fluorierte Ketone (Novec 1230) eingesetzt werden, die nicht zu den fluorierten Treibhausgasen zählen.

Im Jahr 2008 betrug der inländische Neuverbrauch des HFKW-227ea ca. 15 t. Der HFKW-Bestand in Löschanlagen stieg damit auf 258 t an. Die jährlichen Emissionen durch Löschen, Schwund und Fehlalarm zusammen betragen in Deutschland etwa 1% des Bestands. Bisher wurden potenzielle Entsorgungsverluste noch nicht abgeschätzt, weil wegen der langen Anlagen-Lebensdauer von 20 Jahren erst nach 2018 Außerbetriebnahmen erfolgen werden.

Für mobile Systeme wird. das Löschmittel HFKW-236fa als einziger HFKW verwendet. Sein Neuverbrauch liegt relativ konstant bei 3 t pro Jahr. Die Emissionen werden auf 4% geschätzt.

Zur Einsatzmenge des HFKW-23, der ein extrem hohes Treibhauspotenzial aufweist (GWP 11700) liegen uns keine verlässlichen Daten vor.

Feuerlöschmittel: BAU-Szenario

Wir nehmen für das BAU-Szenario an, dass der jährliche Verbrauch von HFKW-227 auf Niveau des Jahres 2008 bei ca. 15 t stagniert. Dies stellt auch den durchschnittlichen Jahresverbrauch seit 2003 dar. Der Bestand in Anlagen wird daher – bei einer Lebensdauer der Systeme von 20 Jahren – bis 2020 auf ca. 360 t ansteigen, um danach langfristig bei ca. 300 t konstant zu bleiben. Die Bestandsemissionen von 1% belaufen sich auf jährlich 3 t. Die Entsorgung beginnt 2018 mit der Rückgewinnung des ersten Befülljahrgangs (1998).

Im Unterschied zu Kälteanlagen erwarten wir keine großen Verluste bei der Entnahme des Löschmittels am Lebensende, weil die Behälter an Ort und Stelle nicht entleert, sondern nur zurückgenommen werden müssen. Wir nehmen 3%, bezogen auf die Füllmenge, an. Als Beispiel: Die Entsorgungsemissionen des Jahres 2030 betragen 450 kg (3% von 15 t).

Für das Löschmittel HFKW-236fa nehmen wir folgende Parameter an. Langfristig konstanter jährlicher Neuverbrauch ca. 3 t. Der Bestand wird langfristig bei etwa 60 t/a stagnieren. Wir schätzen die Bestandsemissionen auf 4% und die Entsorgungsemissionen auf 5%. Als Lebensdauer der Geräte nehmen wir 20 Jahre an.

Die BAU-Emissionen aus Bestand und Entsorgung werden für beide Löschmittel zusammen langfristig bei 10 kt CO_2 eq. liegen (Tabelle 27).

Feuerlöschmittel: Szenario „mit Maßnahmen“

Die EU F-Gase-Verordnung 842/2006 sieht für stationäre Brandschutzsysteme ähnliche emissionsmindernde Maßnahmen wie für Kälteanlagen vor. Das bedeutet unter anderem:

- Das Personal für Service und Rückgewinnung muss ausgebildet und zertifiziert sein.
- Anlagen über 30 kg sind zwei Mal jährlich, Anlagen über 300 kg vier Mal jährlich auf Dichtheit zu kontrollieren.
- Anlagen mit Füllmengen über 300 kg benötigen Leckage-Erkennungssysteme.

Dazu ist anzumerken, dass die Füllmengen stationärer Löschanlagen generell über 30 kg und sehr häufig über 300 kg liegen.

Als Resultat der Anwendung der F-Gas-Verordnung werden Reduktionen der Emissionen erwartet. Die Bestandsemissionen des in stationären Anlagen verwendeten HFKW-227ea durch Leckagen (Austritt durch Löschen oder Fehlalarm ist keine Leckage) sind zumindest Deutschland bereits derart niedrig, dass wir einen messbaren, spezifischen Minderungseffekt durch die F-Gas-Verordnung nicht annehmen können. Es ist aber denkbar, dass die Entsorgungsverluste gesenkt werden können. Statt der von uns geschätzten 3% ist eine Senkung auf 1,5% möglich. Diese Minderung ist die einzige Maßnahme zur Emissionsreduktion, die wir im MM-Szenario für HFKW-227ea betrachten.

Für das Löschmittel HFKW-236fa gelten diese Bedingungen nicht. Es wird nicht in stationären, sondern mobilen Systemen eingesetzt, für welche in der F-Gas-Verordnung nur die Rückgewinnung näher bestimmt wird. Sie muss durch „angemessen ausgebildetes“ Personal erfolgen, aber nicht zwangsläufig durch zertifiziertes Personal. Dazu kommt, dass das Löschmittel vorwiegend in Bereichen eingesetzt wird, für die die F-Gase-Verordnung ohnehin nicht gilt (Art 4(3)).

Die Halbierung der Entsorgungsemissionen des HFKW-227ea bedeutet für die HFKW-Gesamtemissionen von Feuerlöschmitteln ab 2018 eine Senkung um jährlich 0,6 kt CO_2 eq. bzw. um 6-7% (Tabelle 27).

Feuerlöschmittel: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“

Als weitergehende Maßnahme nehmen wir an, dass ab sofort, d.h. ab 2011, der HFKW-227 nicht mehr in neuen Anlagen als Löschmittel eingesetzt wird. An seiner Stelle kann Novec-1230 verwendet werden, dessen Anwendungsbereich mit dem von HFKW-227 identisch ist.

Als Resultat dieser Maßnahme erhöht sich der Bestand des HFKW-227 nicht über das Niveau des Jahres 2010 hinaus. Im Jahr 2030, nach Ablauf der Lebensdauer der Anlagen von 20 Jahren, wird der Bestand ganz abgebaut sein, so dass dann auch keine Bestandsemissionen mehr entstehen.

In gleicher Weise kann auch das Löschmittel HFKW-23 bis 2030 vollständig ersetzt werden. Für das Löschmittel HFKW-236fa sehen wir keine Ersatzmaßnahme vor.

Durch diese Maßnahmen könnten die Gesamtemissionen aus der Anwendung von HFKWs als Feuerlöschmittel ab 2030 auf nahe Null reduziert werden. Die eingesparten Emissionen liegen bei jährlich 9,3 kt CO_2 eq. ab 2030. (Tabelle 27)

Tabelle 27: Emissionen des HFKW-227ea aus der Anwendung als Feuerlöschmittel, nach den Szenarien BAU, MM und MWM

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Szenario BAU	8,4	18,3	10	10	10
Bestand	8,4	11,4	8,7	8,7	8,7
Entsorgung	0	6,9	1,3	1,3	1,3
Szenario MM					
Bestand	8,4	11,4	8,7	8,7	8,7
Entsorgung	0	3,5	0,6	0,6	0,6
Differenz zu MM	*0*	*3,5*	*0,6*	*0,6*	*0,6*
Szenario MWM					
Bestand	8,4	6,8	0	0	0
Entsorgung	0	3,5	0	0	0
Differenz zu MM	*0*	*4,6*	*9,3*	*9,3*	*9,3*

4.8 HFKW- und SF_6-Emissionen aus der Herstellung von F-Gasen

Aus Produktionsanlagen der Chemischen Industrie entstanden im Jahr 2008 sowohl flüchtige als auch Nebenprodukt-Emissionen fluorierter Treibhausgase: HFKW-134a, HFKW-227ea und SF_6 als flüchtige Teilmengen ihrer Produktion sowie HFKW-23 als unbeabsichtigtes Nebenprodukt der Produktion des HCFC-22. In den Jahren 2007 und 2008 waren es nach Auskunft des Herstellers jeweils insgesamt ca. 300 kt CO_2 eq.

Wir nehmen für die Produktionsemissionen nur ein einziges Szenario (BAU) an, weil wir keine technischen Maßnahmen kennen, die über Emissionssenkungen der Chemischen Industrie hinausgehen, mit Ausnahme der Einstellung der Produktion selbst. Die Diskussion einer derartigen Maßnahme gehört aber nicht zur Methodik dieser Studie.

Für die Prognose nehmen wir an, dass sowohl die Produktionsmengen als auch die Emissionsfaktoren der Jahre 2006-2008 langfristig konstant bleiben. Lediglich für die Abschätzung der HFKW-23-Emissionen nehmen an, dass sich die zu Grunde liegende

Produktion von HFCKW-22 auf den als Rohmaterial für den Kunststoff PTFE dienenden Umfang reduziert (keine Kältemittel R-22 mehr).

Als langfristig stabile Emissionsmenge nehmen wir 300 kt CO_2 eq. an.

Tabelle 28: Emissionen von HFKW und SF_6 aus der Chemischen Produktion von F-Gasen bis 2050 (alle Szenarien)					
kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
BAU = MM = MWM	300	300	300	300	300

4.9 FKW-Emissionen

FKW werden in Deutschland derzeit noch bei der Herstellung von Primäraluminium und durch die Halbleiterindustrie emittiert. Diese Industriebereiche werden im Folgenden getrennt betrachtet.

FKW-Emissionen: Ausgangssituation und Trends - Aluminiumindustrie

Die Hersteller von Primäraluminium hatten 1997 eine Selbstverpflichtung abgeschlossen, die die Senkung der Emissionen der FKW CF_4 und C_2F_6 unter das Niveau des Ausgangsjahres 1995 vorsah. Das Ziel war bald erreicht, weil in den deutschen Hütten im Wesentlichen durch Modernisierung der Ofendosierung (Zufuhr von Tonerde in die Schmelze) die spezifischen FKW-Emissionen (pro Tonne Aluminium) drastisch gesenkt werden konnten. Die FKW-Emissionen sanken zwischen 1995 und 2008 von 230 t/a auf 37 t/a.

FKW-Emissionen: Szenarien - Aluminiumindustrie

Das gegenwärtig erreichte Niveau der Emissionen ist sehr niedrig. Die spezifischen Emissionen pro Tonne Aluminium liegen im europäischen Vergleich am unteren Ende und gelten aus heutiger Sicht als nur noch geringfügig reduzierbar.

Wir nehmen daher sowohl für das BAU-Szenario als auch für das MWM-Szenario als langfristigen Trend unveränderte Emissionen in Höhe von 247 kt CO_2 eq. bis 2050 an[43].

Tabelle 29: Emissionen von FKW aus der Herstellung von Primäraluminium Identische Szenarien BAU und MWM					
kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
BAU/MWM	247	247	247	247	247

FKW-Emissionen: Ausgangssituation und Trends - Halbleiterindustrie

Auch die Halbleiterhersteller schlossen im Jahr 2001 eine Selbstverpflichtung. Trotz Produktionssteigerung sollten die Emissionen bis 2010 um 8% unter das Niveau des Bezugsjahres 1995 (237 kt CO_2 eq.) gesenkt werden. Seit 2001 weisen die Emissionen eine fallende Tendenz auf. Im Jahr 2008 wurde mit Emissionen von 166 kt CO_2 eq. (einschl. SF_6

[43] Die F-Gas-Verordnung sieht für die Aluminiumindustrie keine Maßnahmen vor, so dass ein Mit-Maßnahmen-Szenario entfällt.

und HFC-23, ohne NF_3) das Niveau von 1995 von erstmals unterschritten, und zwar sehr deutlich um 25%. Allerdings spiegelt dieser überproportionale Rückgang neben den Anstrengungen der Halbleiterindustrie auch die einsetzende Wirtschaftskrise wider.

FKW-Emissionen: Szenario BAU - Halbleiterindustrie

Das BAU-Szenario nimmt an, dass die Emissionen langfristig auf dem Zielwert der Selbstverpflichtung, nämlich 8% unter den Emissionen von 1995, bei jährlich ca. 218 kt CO_2 eq. verharren werden. (Tabelle 30)

Es wird kein MM-Szenario erstellt, da es derzeit keine gesetzlichen Maßnahmen zur Regulierung der Anwendung von F-Gasen in der Halbleiterindustrie gibt.

FKW-Emissionen: Szenario „mit weiteren Maßnahmen" - Halbleiterindustrie

Als weitergehende Maßnahme wird für die Halbleiterindustrie eine weitere Absenkung der Emissionen um 50% gegenüber dem Zielwert der Selbstverpflichtung angenommen. Die Möglichkeiten dafür sehen wir zum Teil im Ersatz von Ätzgasen mit sehr hohem GWP durch solche mit weniger hohem GWP, sowie zum größeren Teil in der weiteren Verbesserung der nachgeschalteten Abgasbehandlung. Die Senkung der Emissionen auf ca. 109 kt CO_2 eq. jährlich könnte innerhalb von wenigen Jahren realisiert werden.

Tabelle 30: Emissionen von F-Gasen (FKW, SF_6, HFKW-23) aus der Halbleiterherstellung in den Szenarien BAU und MWM

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
BAU	218	218	218	218	218
MWM	109	109	109	109	109
Differenz zu BAU	*109*	*109*	*109*	*109*	*109*

Anzumerken ist, dass das in großem Umfang zur Reinigung der Depositionskammern eingesetzte NF_3 (GWP 17300) in diesen Zahlen nicht enthalten ist, weil es derzeit nicht der internationalen Berichtspflicht unterliegt.

4.10 SF_6- Emissionen

1. Nicht-Eisen-Metall-Industrie (Magnesium und Aluminium)

- **Magnesiumproduktion**

Die Verwendung von SF_6 als Schutzgas in der Sekundärproduktion von Magnesium in Deutschland ist eng an die Entwicklung des Fahrzeugbaus gekoppelt, da Magnesium-Gussteile vor allem in der Automobilindustrie eingesetzt werden. Im Magnesium-Druckguss-Verfahren werden einfach geformte Gussteile in großen Stückzahlen hergestellt, während das Magnesium-Sandguss-Verfahren der Fertigung von Kleinserien und Prototypen mit komplexer Geometrie dient. Langfristig gehen wir, entsprechend dem Trend der vergangenen Jahre, einem jährlichen Wachstum der Magnesiumproduktion von 1% aus. Die SF_6-Applikation kann als offene Anwendung charakterisiert werden, bei der das ganze Schutzgas in die Atmosphäre entweicht (Emissionsfaktor 100%).

- **Aluminiumproduktion**

Im Unterschied zur Magnesiumproduktion wird SF_6 in der Aluminiumproduktion nicht als Schutzgas, sondern als Reinigungsgas für die Herstellung einer bestimmten Legierung (Sekundäraluminium) eingesetzt. In Deutschland gibt es dafür nur einen Anwender von SF_6, dessen Verfahren patentiert ist. Die hergestellte Aluminiumlegierung wird vorrangig für Automobilindustrie benötigt. Wir nehmen ein langfristiges Wachstum für diese Aluminiumproduktion von 1% an. Der Einsatz von SF_6 als Reinigungsgas wurde in bisherigen Berichten für das Umweltbundesamt und in der internationalen Berichterstattung als offene Anwendung mit dem Emissionsfaktor 100% behandelt, da es weder in der Literatur noch in der Fachwelt Anhaltspunkte für den Zersetzungsgrad des SF_6-Gases gab. Im Verlaufe einer Studie für die EU-Kommission[44] wurden vom Anwender Messungen durchgeführt, die eine Zersetzung von 98,5% in der heißen Schmelze belegen. Der Emissionsfaktor wird daher auf 1,5% korrigiert.

SF_6-Emissionen: Szenario BAU – Nicht-Eisen-Metallindustrie

Das BAU-Szenario basiert auf den langfristigen Wachstumsannahmen von 1% jährlich und integriert keine politischen Maßnahmen. Verbrauch und Emissionen wachsen für die Magnesiumanwendung um 1% jährlich, bezogen auf 2007, dem letzten Jahr vor dem SF_6-Verwendungsverbot für Druckgießereien mit jährlichem SF_6-Verbrauch über 850 kg. Für die Aluminiumanwendung, wird die gleiche jährliche Wachstumsrate angenommen, und zwar bezogen auf 2008. Eine gesetzliche Verwendungsbeschränkung für SF_6 gibt es bisher nicht.

SF_6-Emissionen: Szenario „mit Maßnahmen" – Nicht-Eisen-Metallindustrie

In der Magnesiumproduktion ist gemäß der EU-F-Gas-Verordnung (EG) 842/2006 ab Anfang 2008 der Einsatz von SF_6 nur noch in Druckgießereien mit Jahresverbrauch <850 kg sowie generell in Sandgießereien erlaubt. In größeren Produktionsstätten für Magnesium-Druckguss hingegen musste eine Substitution von SF_6 erfolgen. Als alternatives Schutzgas wurde in Deutschland generell der HFKW-134a eingeführt, der mit 1300 ein signifikant niedrigeres GWP als SF_6 (23900) aufweist. Im Jahre 2010 werden SF_6–Emissionen nur noch aus kleineren Druckgießereien und aus Sandgießereien entstehen, und zwar - gemäß unserer Annahme für die Metallproduktion - mit einem Wachstum von jährlich 1% gegenüber 2008.

In Tabelle 31 sind auch die infolge der Schutzgasumstellung der großen Druckgießereien neu auftretenden Emissionen des HFKW-134a aufgeführt.

SF_6-Emissionen aus der Aluminiumproduktion ändern sich in diesem Szenario gegenüber dem BAU-Szenario nicht.

Das MM-Szenario, das die Auswirkung der EU-F-Gas-Verordnung beschreibt, führt bis 2050 zu einer Reduktion von 917 kt CO_2-Äquivalenten gegenüber dem BAU-Szenario.

[44] Schwarz, W. Gschrey, B., Study to assess the feasibility of options to reduce emissions of SF_6 from the EU non-ferrous metal industry and analyse their potential impacts (ENV.C.4/SER/2008/0059rl). For the European Commission (DG ENV), March 2009.

SF_6-Emissionen: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ – Nicht-Eisen-Metallindustrie

Dieses Szenario projiziert potentielle Emissionseinsparungen durch Maßnahmen, die über das MM-Szenario hinausgehen. Für die einzelnen Anwendungsbereiche von SF_6 sind dies folgende Annahmen:

In der Magnesiumproduktion erfolgt die Substitution von SF_6 als Schutzgas auch in den kleineren Druck- und Sandgießereien. Für die Umstellung wird für kleine Druckgießereien als Ersatz HFKW-134a und eine Substitution im Zeitraum 2011-2015 angenommen. Für das Sandguss-Verfahren kommt als technisch mögliches alternatives Schutzgas unter anderem das Fluorketon Novec-612 (GWP 1) in Frage, das eine dem SF_6 vergleichbare Hitzebeständigkeit aufweist. Das Gas ist in Europa kommerziell noch nicht verfügbar. Wir nehmen an, dass spätestens im Zeitraum 2021-2025 SF_6 beim Sandguss klimaneutral ersetzt werden kann.

In der Aluminiumproduktion wird SF_6 als Reinigungsgas durch ein Edelgas ohne klimaschädigende Wirkung ersetzt (z.B. Argon). Die Umstellung soll bis 2015 erfolgen. Dadurch treten ab 2016 keine F-Gas Emissionen in der Aluminiumproduktion mehr auf.

Emissionen entstehen im MWM-Szenario im Jahr 2050 nur noch aus der Anwendung von HFKW-134a in den großen und kleinen Druckgießereien. Die Emissionseinsparungen der NE-Metallindustrie betragen gegenüber dem MM-Szenario im Jahr 2050 zusätzlich über 250 kt CO_2 eq.

Tabelle 31: SF_6-Emissionen aus der Magnesium- und Aluminiumproduktion bis 2050 nach drei Szenarien

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
BAU					
Magnesiumproduktion	558	616	708	864	1097
Aluminiumproduktion	73	81	89	99	109
Total BAU	*631*	*697*	*797*	*963*	*1206*
MM					
Magnesium SF_6	101	111	123	136	150
Magnesium HFKW-134a	20	22	25	27	30
Aluminium SF_6	73	81	89	99	109
Total MM	*194*	*214*	*237*	*262*	*289*
Differenz zu BAU	*437*	*483*	*560*	*701*	*917*
MWM					
Magnesiumproduktion	121	26	30	32	36
Aluminiumproduktion	73	0	0	0	0
Total MWM	*194*	*26*	*30*	*32*	*36*
Differenz zu MM	*0*	*188*	*207*	*230*	*253*

2. Elektrische Schaltanlagen und T&D-Bauteile

Aus der SF_6-Anwendung in Schaltgeräten und Schaltanlagen entstehen Emissionen bei der Herstellung, im Betrieb und bei Außerbetriebnahme. Trotz des Anstiegs des Neuverbrauchs zur Herstellung und des Bestands bei den Energieversorgern gehen die Gesamtemissionen seit 1995 zurück, und zwar von über 27 t (1995) auf 14 t (2008). Die Zielstellung der Selbstverpflichtung aus dem Jahre 2005, die Emissionen bis 2020 auf 17 t/a zu begrenzen, wird bereits seit mehreren Jahren eingehalten, trotz Anstiegs der Produktion. Der Umfang der Außerbetriebnahmen und damit der Entsorgungsemissionen ist wegen der langen Anlagenlebensdauer von 30-40 Jahren bisher sehr gering.

Bei T&D-Bauteilen handelt es sich um Zu- und Anbauten für Schaltanlagen. Diese unterliegen nicht der im vorigen Abschnitt genannten Selbstverpflichtung, die sich nur auf Schaltanlagen im engeren Sinn bezieht. Im Jahr 2000 betrugen die Emissionen bei der Herstellung fast 27 t und damit mehr als aus Schaltanlagen selbst. Die Industrie hat durch Wiederverwendung und Kreislaufführung den SF_6-Verbrauch pro Produkt erheblich verringert und die Emissionen bis 2008 absolut auf 8,7 t gesenkt.

SF_6-Emissionen: Szenario BAU – elektrische Schaltanlagen und T&D Bauteile

Das langfristige Wachstum des Sektors wird von der Industrie als niedrig bezeichnet, weil neue Anlagen hauptsächlich den Ersatzbedarf decken. Die leichte Zunahme bei der absoluten Zahl installierter Schaltanlagen führt nicht zu größerem SF_6-Bestand und höheren Emissionen, weil die neuen Anlagen geringere Füllmengen aufweisen und dichter sind. Dadurch wird nicht nur die Auswirkung des zahlenmäßigen Wachstums kompensiert, sondern auch der mit Außerbetriebnahmen verbundenen Entsorgungsemissionen, die auf bis zu 1 t/a ansteigen dürften. Auch bei T&D-Bauteilen ist mit keiner Erhöhung der Herstellemissionen zu rechnen. Wir nehmen daher für den ganzen Sektor langfristig keine Veränderungen bei den Emissionen gegenüber 2008 an. Bis 2050 bleiben die Emissionen daher für Schaltanlagen auf dem Wert der Selbstverpflichtung von 17 t/a und für T&D-Bauteile auf 8,7 t/a, dem Wert des Jahres 2008.

SF_6-Emissionen: Szenario „mit Maßnahmen“ (MM) – elektrische Schaltanlagen und T&D Bauteile

Die F-Gas-Verordnung sieht für SF_6-enthaltende elektrische Schaltanlagen die Rückgewinnung durch zertifiziertes Personal vor (Art 4 und 5). Angesichts des in Deutschland bereits erreichten niedrigen Entsorgungs-Emissionsfaktors von weniger als 1,5%, was bis 2050 pro Jahr maximal 1 t Emissionen bedeutet, sehen wir keinen zusätzlichen Raum für weitere Emissionssenkungen gegenüber dem BAU-Szenario.

SF_6-Emissionen: Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ (MWM) – elektrische Schaltanlagen und T&D Bauteile

Im Bereich der Mittelspannung (1 kV – 52 kV) ist es bereits heute technisch möglich, ein anderes Isoliermedium als SF_6 zu verwenden, ohne den großen Platzbedarf von Freiluftanlagen zu beanspruchen. Vorausgesetzt, höhere Kosten können realisiert werden, halten wir auf mittlere Frist den Ersatz auch in der Hochspannung für technisch machbar.

Im MWM-Szenario nehmen wir an, dass ab 2021 kein SF_6 mehr für neue Anlagen verwendet wird. Damit entfallen ab 2021 alle Herstellungs-Emissionen. Die Betriebs- und Entsorgungsemissionen vermindern sich jährlich und treten ab 2060 nicht mehr auf.

Tabelle 32: SF_6-Emissionen aus elektrischen Schaltanlagen und T&D-Bauteilen bis 2050 in den Szenarien BAU und MWM

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
BAU = MM	614	614	614	614	614
MWM	614	614	166	115	65
Differenz zu BAU	*0*	*0*	*448*	*499*	*549*

3. Schallschutzscheiben

Seit Juli 2007 ist das Inverkehrbringen von SF_6-haltigen Schallschutzscheiben für Wohnhäuser verboten, ein Jahr später wurde das Verbot auf "sonstige Fenster" aufgeweitet. Der jährliche Neuverbrauch von SF_6 betrug im Jahr 2008 noch 7 t, was gegenüber 1995 nur noch 2,5% sind. Der Verbrauchsrückgang wirkt sich unmittelbar im gleichen Jahr nur auf die Emissionen bei der Herstellung (Befüllung) aus. Aufgrund der Lebensdauer von 25 Jahren wird es, auch bei Einhaltung des SF_6-Verbots für neue Scheiben, noch bis nach 2030 Bestandsemissionen geben.

Die künftigen Emissionen stammen vorwiegend aus der offenen Entsorgung alter Fenster ca. 25 Jahre nach der Befüllung. Diese Entsorgungsemissionen lassen die Gesamtemissionen noch bis 2020 zunehmen, und zwar bis auf etwa 150 t (3600 kt CO_2-Äquivalente) im Jahr. Dieser Anstieg ist vom heutigen Stand der Technik aus gesehen nicht zu verhindern, und ist in allen Szenarien gleich.

SF_6-Emissionen: Szenario BAU - Schallschutzscheiben

Im BAU-Szenario nehmen wir an, dass der Verbrauch des Jahres 2007, des letzten Kalenderjahrs vor dem Verbot der Neubefüllung, langfristig konstant bei ca. 9 t bleibt. Die Gesamtemissionen erreichen 2020 ihren Höhepunkt mit 151 t.

SF_6-Emissionen: Szenario „mit Maßnahmen“ (MM) - Schallschutzscheiben

Im zweiten Szenario, das die Wirkung der F-Gase-Verordnung beschreibt, fallen mit dem Befüllverbot ab 2009 die Herstellemissionen ganz weg, und ab 2034 auch die

Bestandsverluste. Die Entsorgungsemissionen bleiben bis 2020 genauso extrem hoch wie im BAU-Szenario. Im Jahr 2034 sind aber auch diese Emissionen verschwunden.

Das Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ entspricht für diesen Sektor dem MM-Szenario.

Tabelle 33: SF_6-Emissionen aus Schallschutzscheiben bis 2050 in den Szenarien BAU und MM					
kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
BAU	2070	3610	316	218	218
MM = MWM	1994	3521	*214*	*0*	*0*
Differenz zu BAU	*76*	*89*	*102*	*218*	*218*

4. Autoreifen

Seit Mitte der 90er Jahre ist die Anwendung von SF_6 zur Befüllung von Autoreifen rückläufig. Trotz des Verbots dieser Anwendung durch die EU F-Gase Verordnung ab 4. Juli 2007 haben Kfz-Werkstätten im Jahr 2008 immer noch 0,45 t auf Kundenwunsch in Reifen gefüllt. Emissionen entstehen drei Jahre nach Befüllung bei der Demontage der Reifen.

SF_6-Emissionen: Szenario BAU - Autoreifen

Für das BAU-Szenario nehmen wir an, dass der Verbrauchswert von 2006 von 3,4 t langfristig konstant bleiben wird.

SF_6-Emissionen: Szenario „mit Maßnahmen“ - Autoreifen

Hier wird vollständige Wirkung der Verbotsmaßnahme ab 2010 unterstellt: Null Emissionen ab 2010 bis 2050.

Das MWM-Szenario für diese Emissionsquelle entspricht dem MM-Szenario.

Tabelle 34: SF_6-Emissionen aus Autoreifen bis 2050 in den Szenarien BAU und MM					
kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
BAU	81	81	81	81	81
MM = MWM	0	0	*0*	*0*	*0*
Differenz zu BAU	*81*	*81*	*81*	*81*	*81*

5. Teilchenbeschleuniger und optische Glasfasern

Die jährlichen Emissionen aus Teilchenbeschleunigern bewegen sich seit vielen Jahren relativ konstant zwischen 4 und 5 t, was sich auch mittelfristig fortsetzen dürfte. Die Emissionsrate für den Bestand liegt bei 6%. Auch die Emissionen, die bei der Produktion optischer Glasfasern entstehen, bewegen sich im Bereich von 5 t/a.

SF_6-Emissionen: Szenarien – Teilchenbeschleuniger und optische Glasfasern

Uns sind keine emissionsmindernde Maßnahmen bekannt. Darum stellen wir nur ein BAU-Szenario auf, das die Emissionen von 2008 langfristig fortschreibt.

Tabelle 35: SF_6-Emissionen aus Teilchenbeschleunigern und der Herstellung optischer Fasern bis 2050

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
BAU = MM = MWM	250	250	250	250	250

6. Schutzgas-Schweißen und Flugzeug-Radar

Die SF_6-Emissionen aus Radarsystemen, soweit sie der Bundesrepublik Deutschland aus der AWACS-Flotte zugerechnet werden, sind seit mehreren Jahren konstant.

Bei der Anwendung Schweißtechnik kommt es zu Schwankungen im Verbrauch, die mit der Automobilkonjunktur zusammenhängen, weil der einzige Anwender Zulieferer der Autoindustrie ist. Diese Nutzung, bei der SF_6 als Schutzgas dient, blieb lange Jahre unentdeckt. Das ist der Hauptgrund, warum sie bisher keiner Regulierung unterworfen wurde.

SF_6-Emissionen: Szenario BAU – Schutzgas-Schweißen und Flugzeug-Radar

Wir nehmen bis 2050 unveränderte Emissionen auf dem Niveau des Jahres 2008 an.

Die F-Gase-V sieht keine Maßnahmen zu diesen offenen Anwendungen vor. Daher wird kein gesondertes MM-Szenario für diese Emissionsquelle gerechnet, sondern das BAU-Szenario fortgeschrieben.

SF_6-Emissionen: Szenario MWM – Schutzgas-Schweißen und Flugzeug-Radar

Als weitergehende Maßnahme wird im MWM-Szenario für beide Anwendungen SF_6-Totalverzicht ab 2010 angenommen. Dieser ist im Bereich der Schweißtechnik längst überfällig. Auch für die Radarsysteme der AWACS-Flugzeuge werden Alternativen diskutiert (Mitteilung US-EPA an Öko-Recherche, 12.8.2009).

Tabelle 36: SF_6-Emissionen von Schutzgas-Schweißen und Flugzeug-Radar bis 2050 in den Szenarien BAU und MWM

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
BAU = MM	173	173	173	173	173
MWM	0	0	*0*	*0*	*0*
Differenz zu BAU	*173*	*173*	*173*	*173*	*173*

7. Photovoltaik-Industrie

Bei der so genannten Silizium-Dünnschichttechnologie werden entweder SF_6 oder NF_3[45] zur Reinigung der Reaktionskammern von überschüssigem Silizium eingesetzt. Dieses - kostengünstige - Verfahren wurde viele Jahre nur für kleine Serien angewendet, wird aber seit 2007 in großem Maßstab betrieben. Demzufolge stieg der SF_6-Verbrauch, der bis 2006 rund 2 t jährlich betrug, im Jahr 2007 sprunghaft auf 25 t und in 2008 auf 58 t an.

Als Emissionsfaktor wurde in der neuen Studie für das Umweltbundesamt 4% des Verbrauchs ermittelt[46]. Das waren im Jahr 2008 etwa 2,3 t (55 kt CO_2 eq.).

SF_6-Emissionen: Szenario BAU – Photovoltaik-Industrie

In keiner der seit 2008 neu errichteten Anlagen wird SF_6 zur Reinigung eingesetzt. Das verwendete Gas ist NF_3. Wir nehmen daher im BAU-Szenario an, dass SF_6 nur auf den bereits mit SF_6 reinigenden Anlagen weitergenutzt und künftig nur auf neuen Anlagen verwendet wird, welche die bestehenden ersetzen. Damit bleiben Verbrauch und Emissionen langfristig auf dem Stand von 2008.

Die F-Gase-V sieht keine Maßnahmen zu diesen offenen Anwendungen vor. Daher wird kein gesondertes MM-Szenario für diese Emissionsquelle berechnet.

SF_6-Emissionen: Szenario MWM – Photovoltaik-Industrie

Die Annahme für das Reduktionsszenario ist, dass ab 2011 in keiner neuen Produktionslinie mehr SF_6 (oder NF_3) zum Einsatz kommt, sondern nur noch elementares Fluor, das im Jahr 2009 bereits aussichtsreich für die Serienproduktion erprobt wurde.

Im Zeitraum 2011 bis 2020 werden außerdem alle bestehenden Anlagen auf elementares Fluor umgestellt. Daraus ergibt sich, dass ab 2020 keine Emissionen von SF_6 (oder NF_3) mehr vorkommen werden[47].

Tabelle 37: SF_6-Emissionen aus der Photovoltaik-Industrie bis 2050 in den Szenarien BAU und MWM

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
BAU = MM	55,4	55,4	55,4	55,4	55,4
MWM	55,4	0	0	0	0
Differenz zu BAU	*0*	*55,4*	*55,4*	*55,4*	*55,4*

[45] NF_3 wird seit 2007 in neuen Produktionsanlagen an Stelle von SF_6 eingesetzt. NF_3 unterliegt noch nicht der Berichtspflicht für fluorierte Treibhausgase.

[46] Winfried Schwarz (Öko-Recherche): SF_6 und NF_3 in der deutschen Photovoltaik-Industrie. Inventarverbesserung 2008 – Verbesserung und Ergänzung der Daten für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention in der Quellgruppe Photovoltaik (2.F.8.h), Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes FKZ 360 16 027, Dessau April 2010 (noch nicht veröffentlicht).

[47] Siehe das Kapitel „Verbrauchs und Emissionsprognose für SF_6 und NF_3 bis 2050“ in der angeführten Studie für das Umweltbundesamt.

8. Übersicht SF_6-Emissionen in den drei Szenarien

Tabelle 38 fasst die SF_6 –Emissionen aus den vorher einzeln aufgeführten Anwendungen im Überblick zusammen.

Tabelle 38: SF_6-Emissionen aus allen Anwendungen bis 2050 in den drei Szenarien

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
BAU					
Magnesiumproduktion	558	616	708	864	1097
Aluminiumproduktion	73	81	89	99	109
Schaltanlagen, T&D	614	614	614	614	614
Schallschutzscheiben	2 070	3 610	316	218	218
Autoreifen	81	81	81	81	81
Teilchenbeschl./ opt. Fasern	250	250	250	250	250
Schutzgas/ Radar	173	173	173	173	173
Photovoltaik	55,4	55,4	55,4	55,4	55,4
TOTAL	**3 874**	**5 480**	**2 286**	**2 354**	**2 597**
MM					
Magnesium SF_6	101	111	123	136	150
Magnesium HFKW-134a	20	22	25	27	30
Aluminium SF_6	73	81	89	99	109
Schaltanlagen, T&D	614	614	614	614	614
Schallschutzscheiben	1 994	3 521	214	0	0
Autoreifen	0	0	0	0	0
Teilchenbeschl./ opt. Fasern	250	250	250	250	250
Schutzgas/ Radar	173	173	173	173	173
Photovoltaik	55,4	55,4	55,4	55,4	55,4
TOTAL	**3 280**	**4 827**	**1 543**	**1 354**	**1 381**
MWM					
Magnesiumproduktion	121	26	30	32	36
Aluminiumproduktion	73	0	0	0	0
Schaltanlagen, T&D	614	614	166	115	65
Schallschutzscheiben	1 994	3 521	214	0	0
Autoreifen	0	0	0	0	0
Teilchenbeschl./ opt. Fasern	250	250	250	250	250
Schutzgas/ Radar	0	0	0	0	0
Photovoltaik	55,4	0	0	0	0
TOTAL	**3 107**	**4 411**	**660**	**397**	**351**

5. Zusammenfassung der Projektionen von Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland im Zeitraum bis 2050

Die errechneten Emissionen fluorierter Treibhausgase werden in den Tabellen 39 - 42 nach Szenarien geordnet für den Zeitraum 2010-2050 dargestellt. Die Aufgliederung nach Sektoren ist in den entsprechenden Abschnitten in Kapitel 4 sowie in den Datentabellen (Tabellen 1-A, 2-A, 3-A, 4-A) im Anhang aufgeführt.

Tabelle 39 fasst die Emissionen von HFKW, FKW und SF_6 im BAU-Szenario zusammen, die im Jahr 2050 bei etwa 20 MT CO_2 eq. liegen. Im Vergleich zu 2010 stellt dies eine Zunahme von ca. 4 MT CO_2 eq. dar, die vor allem durch steigende HFKW-Emissionen, vor allem aus der Gewerbekälte, verursacht wird.

Ein vorübergehender großer Anstieg der Gesamtemissionen um das Jahr 2020 auf ebenfalls ca. 20 MT CO_2 eq. ist durch die erhöhten SF_6-Emissionen aus der in diesen Jahren fälligen Entsorgung von SF_6 aus Schallschutzfenstern begründet.

Tabelle 39: Emissionen fluorierter Treibhausgase (kt CO_2 eq.) bis 2050 aus allen Sektoren (BAU-Szenario)

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
HFKW	11 827	13 891	15 570	16 348	16 949
FKW	465	465	465	465	465
SF_6	3 874	5 480	2 286	2 354	2 597
Herstellung F-Gase HFKW + SF_6	300	300	300	300	300
TOTAL	**16 466**	**20 136**	**18 621**	**19 467**	**20 311**

Die Tabellen 40 und 41 fassen die Projektionen für F-Gas-Emissionen in den beiden Varianten des MM-Szenarios zusammen. Für Sektoren, für die kein eigenes Szenario „mit Maßnahmen“ gerechnet wurde, da bislang keine politischen Maßnahmen zur Emissionsminderung ergriffen wurden, haben wir die Zahlen des BAU-Szenarios hier übernommen. Details hierzu sind den entsprechenden Abschnitten in Kapitel 4 bzw. den Datentabellen 2-A und 3-A im Anhang zu entnehmen.

Beide Varianten des Szenarios „mit Maßnahmen“ führen im Vergleich zum BAU-Szenario zu deutlichen Emissionsverminderungen, die bereits ab 2010 bei über 3 MT CO_2 eq. jährlich liegen. Da die Variante, welche die Auswirkungen der Maßnahmen der EU F-Gase-Verordnung betrachtet, weniger strenge Verbote und keine Maximalwerte für Leckagen einschließt, sind die Emissionsreduktionen geringer als in der Variante, die auf der Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung basiert. Im Jahr 2050 könnten durch die Variante „F-GaseV“ die Gesamtemissionen fluorierter Treibhausgase auf ca. 11,5 MT CO_2 eq. gesenkt werden (Tabelle 40). Durch die Maßnahmen der Variante „Chem-KlimaV“ hingegen könnten die Gesamtemissionen im Jahr 2050 nur noch 9,5 MT CO_2 eq. betragen (Tabelle 41).

Tabelle 40: Emissionen fluorierter Treibhausgase (kt CO_2 eq.) bis 2050 aus allen Sektoren (MM-Szenario: F-GaseV)					
kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
HFKW	9 256	8 380	7 870	8 644	9 331
FKW	465	465	465	465	465
SF_6	3 280	4 827	1 543	1 354	1 381
Herstellung F-Gase HFKW + SF_6	300	300	300	300	300
TOTAL	**13 301**	**13 972**	**10 178**	**10 763**	**11 477**

Tabelle 41: Emissionen fluorierter Treibhausgase (kt CO_2 eq.) bis 2050 aus allen Sektoren (MM-Szenario: Chem-KlimaV)					
kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
HFKW	9 025	6 893	6 180	6 832	7 419
FKW	465	465	465	465	465
SF_6	3 280	4 827	1 543	1 354	1 381
Herstellung F-Gase HFKW + SF_6	300	300	300	300	300
TOTAL	**13 070**	**12 485**	**8 488**	**8 951**	**9 565**

Tabelle 42 schließlich stellt die Auswirkungen der vorgeschlagenen weiteren Maßnahmen im MWM-Szenario dar. Bereits im Jahr 2020 könnten die projizierten F-Gas-Emissionen hier auf ähnlichem Niveau bei über 9 MT CO_2 eq. liegen wie im der Variante „Chem-KlimaV“ des MM-Szenarios erst im Jahr 2050. Ab 2030 treten Emissionen fluorierter Treibhausgase in diesem Szenario nur noch in sehr geringem Maße auf und liegen im Jahr 2050 bei 1,2 MT CO_2 eq.

Tabelle 42: Emissionen fluorierter Treibhausgase (kt CO_2 eq.) bis 2050 aus allen Sektoren (MWM-Szenario)					
kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
HFKW	8 758	4 834	460	278	197
FKW	356	356	356	356	356
SF_6	3 107	4 411	660	397	351
Herstellung F-Gase HFKW + SF_6	300	300	300	300	300
TOTAL	**12 521**	**9 901**	**1776**	**1331**	**1204**

ANHANG Tabellen und Grafiken

Emissionen fluorierter Treibhausgase nach Sektoren und Szenarien

BAU-Szenario:

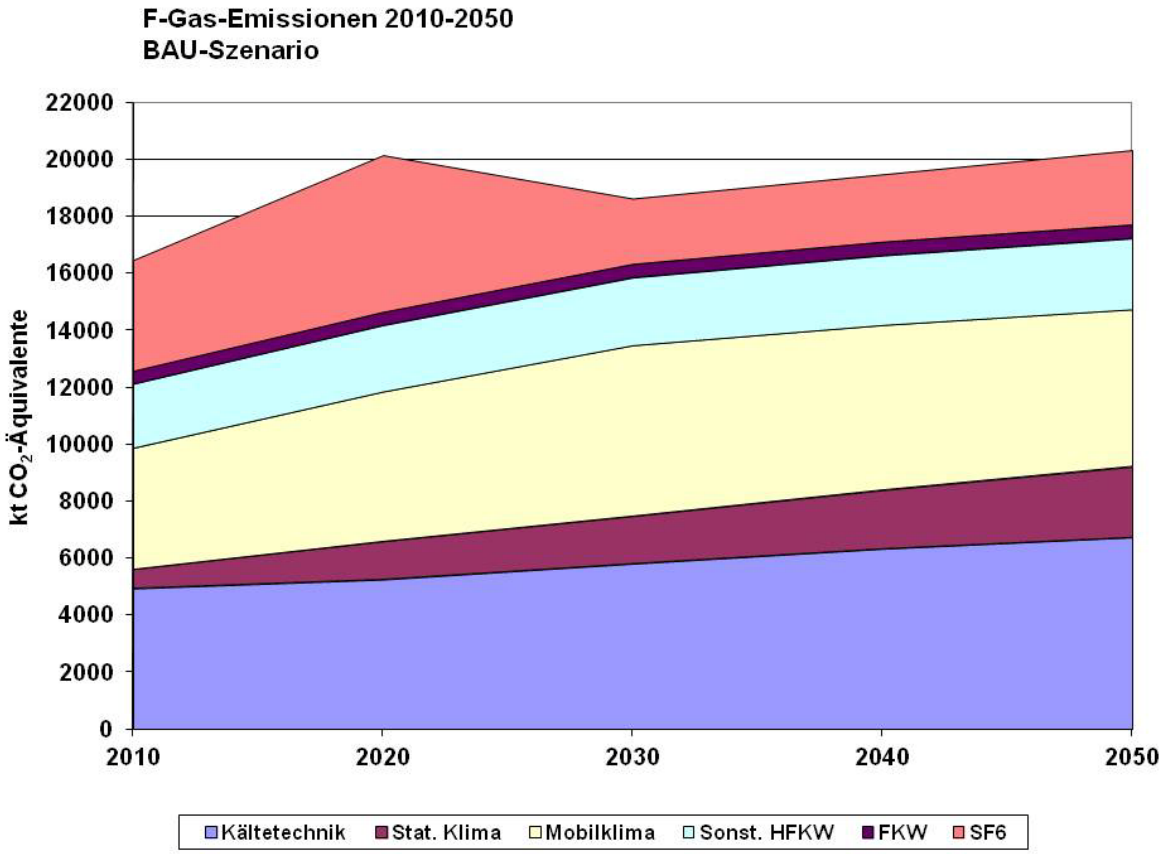
Die Projektion der Emissionen fluorierter Treibhausgase wird für das Business-as-usual-Szenario in Tabelle 1-A und Abbildung 1-A für alle Sektoren im Zeitraum 2010-2050 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 1-A: Emissionen fluorierter Treibhausgase (kt CO_2 eq.) bis 2050 aus allen Sektoren (BAU-Szenario)

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
HFKW					
Kältetechnik	*4 949*	*5 267*	*5 824*	*6 348*	*6 753*
Stat. Klimatechnik	*660*	*1 327*	*1 662*	*2 057*	*2 482*
Mobilklima	*4 263*	*5 260*	*5 998*	*5 792*	*5 516*
Schaum (XPS, PU)	*838*	*890*	*942*	*994*	*1 046*
Montageschaum	*588*	*588*	*588*	*588*	*588*
Dosieraerosole	*299*	*319*	*324*	*337*	*332*
Tech.Aerosole, Novelties, Lösem.	*222*	*222*	*222*	*222*	*222*
Feuerlöschmittel	*8*	*18*	*10*	*10*	*10*
HFKW Total	**11 827**	**13 891**	**15 570**	**16 348**	**16 949**
HFKW + SF_6					
Produktion F-Gase	**300**	**300**	**300**	**300**	**300**
FKW					
Aluminium/ Halbl.	**465**	**465**	**465**	**465**	**465**
SF_6					
Alle Anwendungen	**3 874**	**5 480**	**2 286**	**2 354**	**2 597**
TOTAL	**16 466**	**20136**	**18 621**	**19 467**	**20 311**

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der projizierten Emissionen bis 2050 nach Hauptsektoren. In Sektor „Sonstige HFKW“ sind Emissionen aus Dosieraerosolen, technischen Aerosolen, Novelties, Lösemitteln, Feuerlöschmitteln und der Herstellung von F-Gasen zusammengefasst.

Abbildung 1-A: Projektion der F-Gas Emissionen im BAU-Szenario.



MM-Szenario

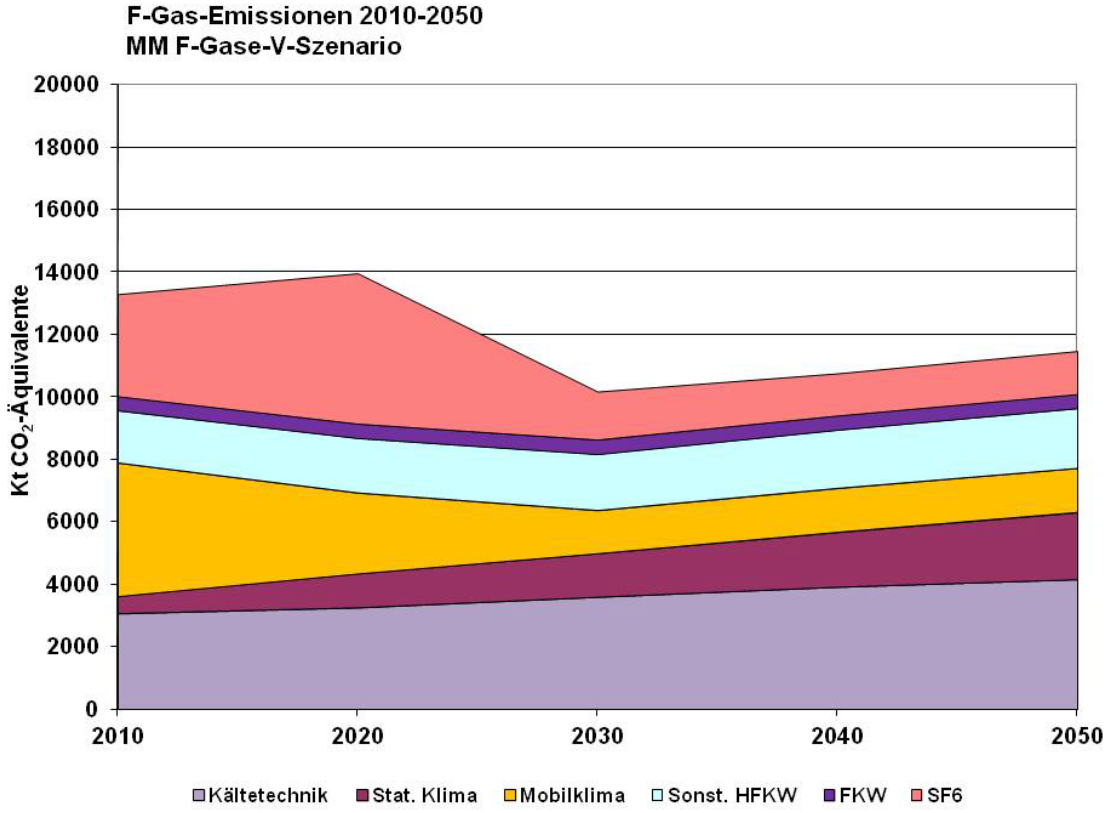
Analog zur Darstellung der F-Gas Emissionen im BAU-Szenario haben wir auch für die beiden Varianten des MM-Szenarios die F-Gas Emissionen tabellarisch (Tabellen 2-A, 3-A) und graphisch (Abbildungen 2-A, 3-A) zusammengefasst.

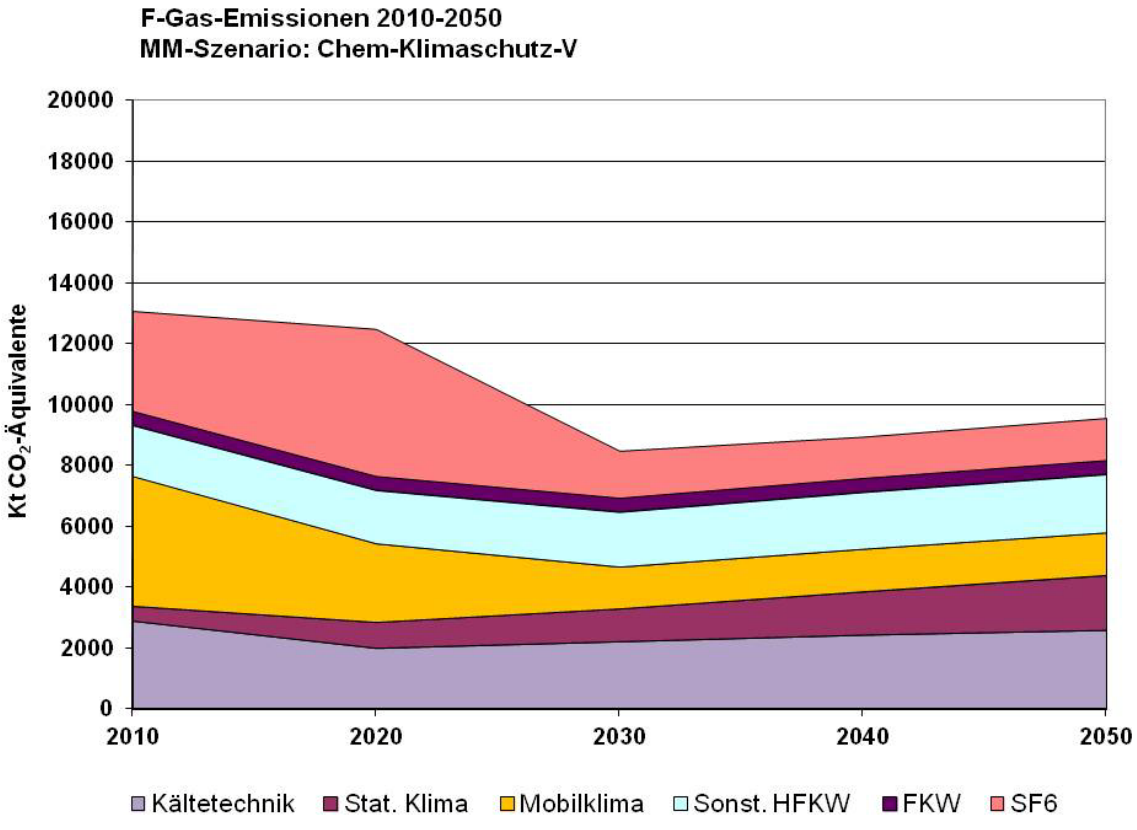
Tabelle 2-A: Emissionen fluorierter Treibhausgase (kt CO_2 eq.) bis 2050 aus allen Sektoren (MM-Szenario: F-Gase V)

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
HFKW					
Kältetechnik	*3 061*	*3 250*	*3 592*	*3 914*	*4 157*
Stat. Klimatechnik	*561*	*1 098*	*1 403*	*1 765*	*2 158*
Mobilklima	*4 263*	*2 582*	*1 374*	*1 399*	*1 403*
Schaum (XPS, PU)	*838*	*890*	*942*	*994*	*1 046*
Montageschaum	*20*	*20*	*20*	*20*	*20*
Dosieraerosole	*299*	*319*	*324*	*337*	*332*
Tech.Aerosole, Novelties, Lösem	*206*	*206*	*206*	*206*	*206*
Feuerlöschmittel	*8*	*15*	*9*	*9*	*9*
HFKW Total	**9 256**	**8 380**	**7 870**	**8 644**	**9 331**
HFKW + SF_6					
Produktion F-Gase	**300**	**300**	**300**	**300**	**300**
FKW					
Aluminium/ Halbl.	**465**	**465**	**465**	**465**	**465**
SF_6					
Alle Anwendungen	**3 280**	**4 827**	**1 543**	**1 354**	**1 381**
TOTAL	**13 301**	**13 972**	**10 178**	**10 763**	**11 477**

Tabelle 3-A: Emissionen fluorierter Treibhausgase (kt CO_2 eq.) bis 2050 aus allen Sektoren (MM-Szenario: Chemikalien-KlimaschutzV)					
kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
HFKW					
Kältetechnik	*2 902*	*2 009*	*2 225*	*2 443*	*2 600*
Stat. Klimatechnik	*489*	*852*	*1 080*	*1 424*	*1 803*
Mobilklima	*4 263*	*2 582*	*1 374*	*1 399*	*1 403*
Schaum (XPS, PU)	*838*	*890*	*942*	*994*	*1 046*
Montageschaum	*20*	*20*	*20*	*20*	*20*
Dosieraerosole	*299*	*319*	*324*	*337*	*332*
Tech.Aerosole, Novelties, Lösem	*206*	*206*	*206*	*206*	*206*
Feuerlöschmittel	*8*	*15*	*9*	*9*	*9*
HFKW Total	**9 025**	**6 893**	**6 180**	**6 832**	**7 419**
HFKW + SF_6					
Produktion F-Gase	**300**	**300**	**300**	**300**	**300**
FKW					
Aluminium/ Halbl.	**465**	**465**	**465**	**465**	**465**
SF_6					
Alle Anwendungen	**3 280**	**4 827**	**1 543**	**1 354**	**1 381**
TOTAL	**13 070**	**12 485**	**8 488**	**8 951**	**9 565**

Abbildungen 2-A und 3-A: Projektionen der F-Gas Emissionen bis 2050 in den beiden Varianten des Szenarios „mit Maßnahmen“ (MM).





MWM-Szenario

Die Projektionen im Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ sind in Tabelle 4-A und Abbildung 4-A aufgeführt.

Tabelle 4-A: Emissionen fluorierter Treibhausgase (kt CO_2 eq.) bis 2050 aus allen Sektoren (MWM-Szenario)

kt CO_2 eq.	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
HFKW					
Kältetechnik	*2 902*	*1 642*	*0*	*0*	*0*
Stat. Klimatechnik	*489*	*600*	*144*	*0*	*0*
Mobilklima	*4 263*	*2 417*	*149*	*108*	*28*
Schaum (XPS, PU)	*821*	*67*	*67*	*67*	*67*
Montageschaum	*2*	*2*	*2*	*2*	*2*
Dosieraerosole	*67*	*70*	*72*	*75*	*74*
Tech.Aerosole, Novelties, Lösem	*206*	*26*	*26*	*26*	*26*
Feuerlöschmittel	*8*	*10*	*0*	*0*	*0*
HFKW Total	**8 758**	**4 834**	**460**	**278**	**197**
HFKW + SF_6					
Produktion F-Gase	**300**	**300**	**300**	**300**	**300**
FKW					
Aluminium/ Halbl.	**356**	**356**	**356**	**356**	**356**
SF_6					
Alle Anwendungen	**3 107**	**4 411**	**660**	**397**	**351**
TOTAL	**12 521**	**9 901**	**1 176**	**1 331**	**1 204**

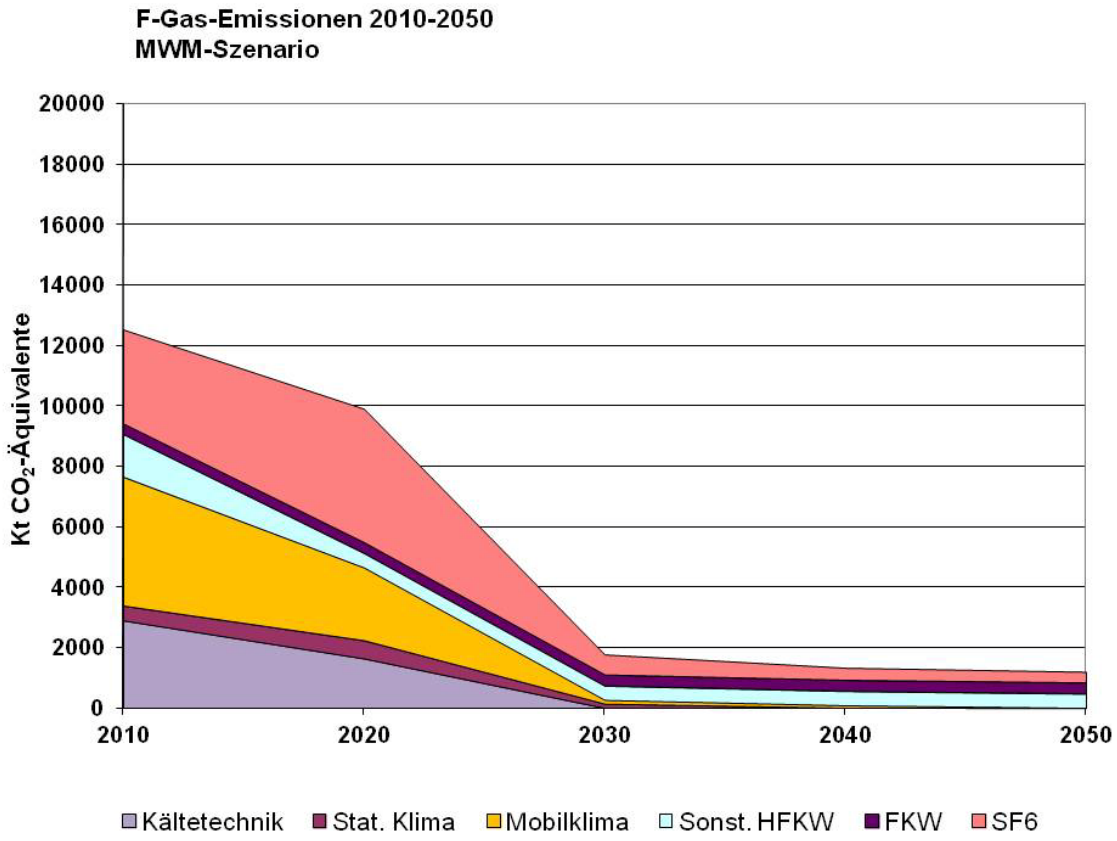



Abbildung 4-A: Projektionen der Emissionen fluorierter Treibhausgase im Szenario „mit weiteren Maßnahmen“ bis 2050.