

4. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben:

"Emissionen und Emissionsprognose von H-FKW, FKW und SF₆ in Deutschland - Aktueller Stand und Entwicklung eines Systems zur jährlichen Ermittlung"

Emissionsdaten bis zum Jahr 2003 und Emissionsprognosen für die
Jahre 2010 und 2020

von

Dr. Winfried Schwarz

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

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

16. Februar 2005

Inhalt

I.	Einleitung	2
II.	Emissionsdaten bis zum Jahr 2003	5
III.	Emissionsprognosen für die Jahre 2010 und 2020	8
III-A.	HFKW	10
1.	Stationäre Kälte- und Klimaanlage	12
a.	Industriekälte	12
b.	Gewerbekälte	13
c.	Stationäre Klimaanlage und Wärmepumpen	13
2.	Mobile Kälte- und Klimaanlage	14
a.	Pkw-Klimaanlagen	14
b.	Andere mobile Klimaanlage	14
c.	Kühlfahrzeuge	15
d.	Kühlcontainer	15
3.	Sonstige HFKW-Anwendungen	16
a.	Asthmasprays	16
b.	Allgemeine Sprays und Lösemittel	16
c.	Feuerlöschmittel	17
d.	Halbleiter	17
4.	Schaumstoffe	17
a.	XPS-Schaum	17
b.	PU-Schaum	18
c.	Montageschaum (einkomponentig)	19
III-B.	FKW	21
1.	Aluminium	22
2.	Kältetechnik	22
3.	Leiterplattenfertigung	22
4.	Halbleiter	22
III-C.	SF₆	24
1.	Elektrische Energieübertragung	25
2.	Sonstige elektrische Anwendungen	25
3.	Magnesiumguss	26
4.	Schallschutz	26
5.	Autoreifen	27
6.	Sportschuhe/NAEWF/Glasfasern	27
7.	Tracer-Gas und Aluminium-Reinigung	27
8.	Halbleiter	28
9.	Sonstiges	28
	Nähere Informationen zu allen Sektoren	28
IV.	Anhang	29

I. Einleitung

Neben den klassischen Klimagasen Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) wurden 1997 auch die fluorierten Treibhausgase H-FKW, FKW und SF_6 in das Kyoto-Protokoll der Klimarahmenkonvention aufgenommen. Danach verpflichteten sich alle Industriestaaten zu einer Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen um durchschnittlich 5,2 % gegenüber 1990 bis zum Ende der Verpflichtungsperiode 2008/2012. Deutschland ist Vertragsstaat der UN-Klimarahmenkonvention und hat das Kyoto Protokoll ratifiziert. Im Rahmen der Lastenteilung der Europäischen Union hat sich die Bundesregierung verpflichtet, die Emissionen aller sechs Treibhausgase im gleichen Zeitraum um 21 % zu vermindern.

Die Stoffe HFKW, FKW und SF_6 werden unter dem Oberbegriff fluorierte Treibhausgase zusammengefasst. Viele dieser Stoffe haben sehr lange atmosphärische Verweilzeiten und damit ein Treibhauspotenzial (GWP), welches mehrere 1000-mal höher ist als das von CO_2 . So ist beispielsweise Schwefelhexafluorid der Stoff mit der größten bekannten Klimawirksamkeit (eine Tonne [t] SF_6 ist genauso klimawirksam wie etwa 23.900 Tonnen CO_2). Tetrafluorkohlenstoff (CF_4), ein FKW, verbleibt etwa 50.000 Jahre in der Atmosphäre. Daraus ergibt sich, dass bereits relativ geringe Mengen in nicht unerheblichem Maß zu anthropogenen Klimaänderungen beitragen. Ihr Anteil an den Gesamtemissionen klimarelevanter Gase beträgt derzeit 1-2 %.

Die Klimarahmenkonvention und ihre Folgeregelungen enthalten konkrete Verpflichtungen zur Übermittlung von Emissionsdaten, einschließlich der zu ihrer Berechnung verwendeten Basisdaten und Methoden. Im Zusammenhang mit den internationalen Vereinbarungen zum Klimaschutz sind gleichfalls Emissionsdaten an die Europäische Kommission zu übermitteln.

Berichte über Treibhausgasemissionen sind nicht mehr nur eine unverbindliche Zustandsbeschreibung und ein Instrument der Maßnahmenkontrolle. Sie sollen in Zukunft die Basis für den internationalen Handel mit Emissionsrechten schaffen. Es wird daher ein hoher Detaillierungsgrad, eine Prognose der zukünftigen Emissionsentwicklung, eine quantitative Angabe der Unsicherheiten und eine lückenlose Dokumentation gefordert.

Ziel dieses Vorhabens ist es, die Datengrundlage für die Emissionsberichterstattung bis zum Jahr 2004 zu liefern und einen konkreten Vorschlag für die zukünftige Emissionsermittlung auszuarbeiten.

Dieser vierte Zwischenbericht beinhaltet - aufbauend auf vorangegangenen Studien (z. B. Schwarz/Leisewitz: Emissionen und Minderungspotential von HFKW, FKW und

SF₆ in Deutschland, 1999) sowie auf dem ersten Zwischenbericht von 2003 - Emissionsdaten für die Jahre 1990/1995 bis 2003 und Emissionsprognosen für die Jahre 2010 und 2020.

Die Emissionsdaten und –prognosen basieren auf Angaben der betroffenen Industrien, Auswertungen internationaler Literatur und Schätzungen der Auftragnehmer.

Die Emissionsentwicklung zwischen 1990/1995 und 2003 ist im Abschnitt II dargestellt, während im Abschnitt III die Emissionsprognosen behandelt werden.

Für die Emissionsprognosen wurden vier zugrunde liegende Szenarien erarbeitet:

- Szenario I "Ohne Maßnahmen" ("without measures projection"), das die in den Jahren 1995 bis 1998 sich abzeichnenden Trends ungebrochen bis in die Jahre 2010 und 2020 fortschreibt. "Ohne Maßnahmen" bedeutet daher in Wirklichkeit "Ohne neue Maßnahmen nach 1998". Das Szenario enthält also solche Maßnahmen, die zwischen 1995 und 1998 in Gang gesetzt wurden. Dennoch ist es ein "Business-as-Usual"-Szenario. Für geschlossene Anwendungen werden die historischen Emissionsraten unverändert gelassen, künftige Verbesserungen der Anlagendichtheit werden nicht berücksichtigt. Jedoch wird versucht, aus damaliger Sicht wahrscheinliche Zu- oder Abnahmen bei den Einsatzmengen in den einzelnen Sektoren zu antizipieren. Dieses Szenario bildet gewissermaßen den "worst case" aus der Sicht des Jahres 1998 und damit den Maßstab ("baseline" oder "reference" projection) für die drei folgenden Szenarien. Je weiter deren prognostizierte Emissionen jenes "Ohne Maßnahmen"-Niveau unterschreiten, umso mehr Fortschritte im Klimaschutz drücken sie aus.

Das Szenario I "Ohne Maßnahmen ab 1999" ist dem Szenario "Wie weiter vor 1998" aus dem ersten Zwischenbericht vergleichbar. Die prognostizierten Emissionen für 2010 und 2020 sind allerdings um etwa zehn Prozent höher geschätzt als damals. Die Ursache dafür liegt zum großen Teil in umfangreichen Neuberechnungen der im Jahr 1998 tatsächlich vorhandenen Emissionen und Verbräuche, die im Rahmen einer Studie für das Umweltbundesamt 2003 und 2004 durchgeführt wurden¹. Dabei wurden vor allem im Bereich der Nutzung von SF₆ bislang unterzeichnete Einsatzmengen (Aluminium- und Magnesiumindustrie, Herstellung elektrischer Bauelemente, Flugzeugradar, Schallschutzscheiben) nach oben korrigiert. Auch im HFKW-Sektor mussten einige Werte rückwirkend höher angesetzt werden (HFKW-23-Nebenprodukt-Emissionen, Montageschaum-Emissionen).

¹ "Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002. Frankfurt/Berlin 2005. Verfasser: W. Schwarz, Öko-Recherche.

- Szenario II "Mit Maßnahmen bis 2003" ("with measures projection") auf Basis der vor dem Jahr 2004 bereits umgesetzten Maßnahmen. Es sieht bis 2010 bzw. 2020 von jeder Politik und Maßnahme ab, die erst nach 2003 durchgeführt wird, trägt aber Anstrengungen zur Emissionsminderung seit 1998 Rechnung. Es besteht im Kern darin, die heute vorhandenen, gegenüber Szenario I in manchen Fällen (etwa im Bereich der Polyurethan- und XPS-Schaumherstellung) deutlich reduzierten Verbrauchs- und Emissionstrends in die Zukunft fortzuschreiben. Damit ist es dem zweiten Szenario des ersten Zwischenberichts ("Mit Maßnahmen 98-03") vergleichbar, kann sich nun aber für die Zeit bis 2003 völlig auf reale Daten stützen.
- Szenario III "EU-Gesetzgebung 2007" auf Basis der Umsetzung der zur Zeit im abschließenden politischen Prozess befindlichen EU-VO über Emissionsbegrenzung und Einsatzverbot bestimmter fluorierter Treibhausgase sowie der EU-Richtlinie über den Ausstieg aus HFKW-134a aus mobilen Klimaanlageanlagen. Diese Prognose ("with measures projection") dient dazu, die Auswirkungen jener für fluorierte Treibhausgase zweifellos wichtigsten politischen Maßnahme dieses Jahrzehnts auf die Emissionsentwicklung abzuschätzen.
- Szenario IV ("Mit weiteren Maßnahmen"), das ein neues "Minderungsszenario" darstellt auf Basis von über die bisher geplante EU-Gesetzgebung hinausgehenden zusätzlichen Maßnahmen, die für mittel- bis langfristig umsetzbar gehalten werden.

Gegliedert nach den Stoffgruppen HFKW und FKW und nach SF₆ sind im Abschnitt III zunächst die Prognosen tabellarisch dargestellt. Erst im Anschluss sind die Annahmen, die diesen Prognosen zu Grunde liegen, beschrieben. Während die in den Text integrierten Tabellen aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Gesamtemissionen für jeden Hauptbereich, aggregiert über die gesamte Stoffgruppe und über alle Teilemissionsquellen enthalten, enthält der Anhang noch detailliertere Daten. Da es sich bei einigen um vertrauliche Angaben handelt, ist keine vollständige Wiedergabe aller Einzelemissionen möglich.

II. Emissionsdaten bis zum Jahr 2003

Die Gesamtemissionen der Gase HFKW, FKW und SF₆ sind von 1995 bis 2003 von 3239 t auf 6844 t gestiegen. Anders als nach der metrischen Tonnage ist die Klimawirkung dieser Emissionen allerdings zurückgegangen, und zwar von 15,466 auf 13,677 Mio. t CO₂-Äquivalente. Dahinter verbergen sich sehr unterschiedliche Tendenzen, die den Blick auf die einzelnen Gasegruppen notwendig machen.

Die Emissionen fluorierter Gase haben sich seit 1990/1995² differenziert entwickelt: Der Masse nach sind die HFKW-Gesamtemissionen von 1995 bis 2003 von 2680 t auf 6540 t gestiegen. Ihre Klimawirkung (ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten) hat jedoch seit 1995 moderater zugenommen - von 6,5 auf 8,4 Mio. t CO₂-Äquivalente. Zwar stiegen die HFKW Emissionen aus bewusster Anwendung seit 1995 sehr stark von 2,3 auf 7,9 Mio. t CO₂-Äquivalente; dieser Trend setzt sich weiterhin fort. Im gleichen Zeitraum reduzierten aber die Hersteller fluorierter Gase die Nebenproduktemissionen des stark treibhauswirksamen HFKW-23 bei der Synthese von HFCKW-22 von hohem Ausgangsniveau um fast 4 Mio. t CO₂-Äquivalente. Die dämpfende Wirkung dieser einmaligen Maßnahme fällt in der Zukunft weg.

Die Emissionen von FKW und auch von SF₆ nehmen seit 1990/95 dank der Anstrengungen der Industrie und einer erfolgreichen Umweltaufklärung kontinuierlich ab – in der metrischen Tonnage wie in der Klimawirkung.

FKW-Emissionen waren 2003 noch halb so hoch wie 1995. Sie sanken von 256 auf 121 t bzw. von 1,75 auf 0,86 Mio. t CO₂-Äquivalente.

SF₆-Emissionen sind im gleichen Zeitraum von 303 auf 183 t gesunken, was in CO₂-Äquivalenten einen Rückgang von 7,2 auf 4,4 Mio. t ausmacht.

Der Anstieg bei FKW ab 2002 und bei SF₆ im Jahre 2003 muss nicht als Trendwende betrachtet werden. In beiden Fällen sind Sonderentwicklungen in der Aluminiumindustrie (Primärhütten für FKW, Gießereien für SF₆) Ursache der Emissionszunahme.

Aus den nachstehenden Tabellen kann die Entwicklung der Emissionen für HFKW (Tab. II.1 und II.2), FKW (Tab. II.3 und II.4) und SF₆ (Tab. II.5 und II.6) für die wichtigsten Anwendungsbereiche dieser Stoffe entnommen werden.

² Im Jahr 1990 gab es noch keine gezielte Herstellung/keinen gezielten Einsatz von HFKW. Dem Jahr 1990 zuzuordnende Emissionen resultierten einzig aus dem HFCKW-22-Herstellungsprozess, wo HFKW-23 als Nebenprodukt entsteht. Die HFKW-Emissionen sind in diesem Bericht daher erst ab dem Jahr 1995 angegeben.

Tab. II.1 Entwicklung der HFKW-Emissionen [t] 1995-2003

	1995	1998	2000	2002	2003
Stationäre Kälte/Klima	73	516	855	1158	1360
Mobile Kälte/Klima	170	677	1168	1652	1903
- davon nur Pkw	133	563	988	1403	1611
PU-Montageschaum	1823	1844	1475	897	894
PU-Schäume	0	92	94	112	118
XPS-Schäume	0	0	0	1971	1709
Dosieraerosole	0	27	84	201	205
Andere Aerosole/Lösemittel	254	262	269	274	274
Feuerlöschmittel u. sonstiges	1,1	1,01	2,0	2,5	2,8
Insgesamt (Verwendung)	2319	3419	3947	6267	6467
Sonstiges (Produktion, usw.)	360	259	128	132	74
Insgesamt	2680	3678	4075	6399	6540

Tab. II.2 Entwicklung der HFKW-Emissionen [Mio. t CO₂-Äquivalente] 1995-2003

	1995	1998	2000	2002	2003
Stationäre Kälte/Klima	0,170	1,175	2,012	2,793	3,233
Mobile Kälte/Klima	0,234	0,915	1,571	2,216	2,561
- davon nur Pkw	0,172	0,732	1,284	1,824	2,094
PU-Montageschaum	1,534	1,553	1,084	0,662	0,587
PU-Schäume	0	0,12	0,123	0,141	0,150
XPS-Schäume	0	0	0	0,906	0,698
Dosieraerosole	0	0,035	0,168	0,326	0,318
Andere Aerosole/Lösemittel	0,318	0,329	0,336	0,339	0,339
Feuerlöschmittel u. sonstiges	0,012	0,012	0,019	0,017	0,022
Insgesamt (Verwendung)	2,269	4,138	5,312	7,400	7,908
Sonstiges (Produktion, usw.)	4,212	2,833	1,207	1,212	0,533
Insgesamt	6,481	6,971	6,519	8,612	8,441

Tab. II.3 Entwicklung der FKW-Emissionen [t] 1990-2003

	1990	1995	1998	2000	2002	2003
Aluminiumproduktion	347	230	157	53	64	70
Halbleiterherstellung	15	23	29	43	33	34
Leiterplattenfertigung	2	2	2	2	2	2
Kältetechnik	0	1,2	7,7	11,4	13,5	14,6
Insgesamt	364	256	212	109	112	121

Tab. II.4 Entwicklung der FKW-Emissionen [Mio. t CO₂-Äquivalente] 1990-2003

	1990	1995	1998	2000	2002	2003
Aluminiumproduktion	2,341	1,552	1,166	0,356	0,431	0,475
Halbleiterherstellung	0,121	0,177	0,238	0,333	0,250	0,260
Leiterplattenfertigung	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
Kältetechnik	0	0,008	0,055	0,082	0,099	0,108
Insgesamt	2,475	1,750	1,472	0,784	0,793	0,856

Tab. II.5 Entwicklung der SF₆-Emissionen [t] 1990-2003

	1995	1998	2000	2002	2003
El. Energieübertragung	43,4	38,8	30,5	30,7	25,4
Sonst. El. Anwendungen	5,2	17,0	18,4	13,8	10,9
Magnesiumguss	7,7	9,2	13,2	16,0	19,1
Schallschutzscheiben	107,9	56,5	51,7	46,4	48,3
Autoreifen	110,0	125	50	9	6
Sohlen/NAEWF/Glasfasern	18,5	22,3	23,3	16,6	15,4
Tracergas/Alu-Reinigung	1,0	1,0	14,5	35,5	45,5
Sonstiges	9	11,4	11,4	12,4	12,6
Insgesamt	303	281	213	180	183

Tab. II.6 Entwicklung der SF₆-Emissionen [Mio. t CO₂-Äquivalente] 1990-2003

	1995	1998	2000	2002	2003
El. Energieübertragung	1,036	0,926	0,728	0,734	0,607
Sonst. El. Anwendungen	0,125	0,405	0,441	0,329	0,260
Magnesiumguss	0,185	0,220	0,316	0,383	0,457
Schallschutzscheiben	2,578	1,350	1,236	1,108	1,155
Autoreifen	2,629	2,988	1,195	0,215	0,143
Sohlen/NAEWF/Glasfaser	0,442	0,532	0,557	0,396	0,369
Tracergas/Alu-Reinigung	0,024	0,024	0,347	0,848	1,087
Sonstiges	0,216	0,273	0,271	0,295	0,301
Insgesamt	7,235	6,718	5,091	4,309	4,380

III. Emissionsprognosen für die Jahre 2010 und 2020

Nach dem Szenario I "Ohne Maßnahmen ab 1999"³ würden die F-Gas-Emissionen bis 2010 auf 28,1 Mio. t und bis 2020 auf 33,8 Mio. t CO₂-Äquivalente ansteigen. Die 1995er Ausgangswerte würden sich demzufolge bis 2020 mehr als verdoppeln. Fast zwei Drittel aller Emissionen gingen dann von HFKW aus, die zu einem großen Teil den Platz der historischen FCKW und HFCKW eingenommen haben.

Das Szenario II "Mit Maßnahmen bis 2003" zeigt, dass in der jüngeren Vergangenheit bereits erhebliche umweltpolitische Anstrengungen unternommen wurden. Gegenüber keinen weiteren Maßnahmen nach 1998 (Szenario I) werden im Jahr 2010 etwa 8 Mio. t CO₂-Äquivalente weniger emittieren, im Jahr 2020 sogar 10 Mio. (23,4 zu 33,8 Mio. t). An dem deutlich verringerten Emissionsanstieg sind alle Stoffgruppen beteiligt. Nichtsdestoweniger werden die 1995er Ausgangswerte dank starken Emissionsanstiegs bei den HFKW deutlich übertroffen werden. Triebkräfte des HFKW-Anstiegs sind vorwiegend die Substitution bisheriger FCKW/HFCKW-Kältemittel auf gleichem Niveau (in der stationären Kälte) sowie die Ausweitung über das alte FCKW-Niveau hinaus (in der mobilen Klimatechnik).

Demgegenüber schätzt das Szenario III die Auswirkungen der bevorstehenden EU-Gesetzgebung auf die Emissionen ab. Tabelle A0 zeigt, dass dank der EU-Gesetze in 2010 etwa 4 Mio. t CO₂-Äquivalente weniger emittieren, als wenn lediglich die bis 2003 umgesetzten Maßnahmen nach Szenario II bestehen bleiben würden. Im Jahr 2020 wird die Minderung schon über 7 Mio. t CO₂-Äquivalente oder 30% betragen: statt 23,3 Mio. CO₂-Äquivalente nur 16,2 Mio. t.

Tab. A0 Emissionsprognosen HFKW, FKW und SF₆ (in Mio. t CO₂-Äquivalente)

	Werte 1995	Ohne Maß- nahmen ab 1999		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetze 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
		2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
HFKW	6,481	18,504	20,412	13,753	15,222	10,862	9,496	9,421	5,874
FKW	1,750	1,727	2,786	0,658	0,631	0,641	0,610	0,558	0,519
SF ₆	7,235	7,875	10,556	5,447	7,523	4,427	6,054	3,204	4,614
Gesamt	15,465	28,106	33,754	19,858	23,376	15,930	16,159	13,183	11,007

Die Reduktionswirkung der EU-Gesetzgebung zeigt sich kaum bei FKW und auch nur gering bei SF₆. Es sind vor allem die HFKW, von denen in 2020 fast 6 Mio. t CO₂-Äquivalente (knapp 40%) weniger als nach dem Szenario "Mit Maßnahmen bis 2003" emittieren werden (9,5 statt 15,2 Mio. t). Hauptursachen dafür sind 1. Verbot von

³ Nähere Erläuterungen zu den sektoralen Bedingungen sind im Anschluss an die Tabellen nachlesbar. Detaillierte Angaben zur Emissionsermittlung in vierzig Anwendungssektoren sind in der Studie "Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002" (Schwarz 2005) enthalten.

HFKW-134a für Pkw-Klimaanlagen, 2. Wartungspflicht in der stationären Kälte-Klimatechnik und 3. weitgehendes Verbot von HFKW für Montageschaum.

Das letzte Szenario schätzt die Wirkung weiterer umsetzbarer Maßnahmen ab. Es zeigt sich, dass im Jahr 2020 gegenüber dem EU-Szenario fast noch einmal zusätzliche 6 Mio. t CO₂-Äquivalente eingespart werden könnten. Dann würden statt 33,8 Mio. t (erstes Szenario) bzw. 23,4 Mio. t (zweites Szenario) und 16,2 Mio. t (zweites Szenario) nur noch 11,0 Mio. t CO₂-Äquivalente emittieren. Die weiteren Maßnahmen wirken sich bei allen drei Stoffgruppen (HFKW, FKW, SF₆) deutlich reduzierend aus.

Während infolge der EU-Gesetzgebung die Emissionen des Jahres 1995 im Jahr 2020 noch knapp überschritten werden, lägen dank weiterer Maßnahmen die Emissionen des Jahres 2020 deutlich, nämlich fast um fast 30%, unter jenen Ausgangswerten.

III-A. HFKW

Tab. A1 Entwicklung der HFKW-Emissionen (in t)

Sektoren	Ausgangs- Werte	Ohne Maßnahmen (weiter wie 1995-98)		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
	1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Stationäre Kälte/Klima	73	2250	2468	2117	2336	1509	1566	1501	1194
Mobile Kälte/Klima	170	3810	4203	3810	4203	3505	2381	3482	1793
- <i>davon nur Pkw</i>	<i>133</i>	<i>3305</i>	<i>3577</i>	<i>3305</i>	<i>3577</i>	<i>3013</i>	<i>1777</i>	<i>2990</i>	<i>1391</i>
PU-Montageschaum	1823	1844	1844	1048	1048	52	52	0	0
PU-Schäume	0	749	1072	446	598	446	598	186	65
XPS-Schäume	0	3666	4503	2283	2810	991	829	480	23
Dosieraerosole	0	443	595	286	384	286	384	235	179
Andere Aerosole	254	275	275	275	275	172	172	2	2
Feuerlöschmittel/Sonstiges	1,1	10,3	20,9	7,7	12,5	7,7	12,5	7,3	10,6
Insgesamt (Verw. inkl. Mg)	2319	13047	14981	10274	11666	6980	6012	5906	3286
Sonstiges (Produktion)	360	272	272	62	62	62	56	52	46
Insgesamt	2680	13319	15253	10336	11728	7042	6068	5957	3332

Tab. A2 Entwicklung der HFKW-Emissionen (in Mio. t CO₂- Äquivalente)

Sektoren	Ausgangs- Werte	Ohne Maßnahmen (weiter wie 1995-98)		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
	1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Stationäre Kälte/Klima	0,170	5,675	6,015	5,272	5,612	3,700	3,679	3,682	2,746
Mobile Kälte/Klima	0,234	5,065	5,595	5,065	5,595	4,642	2,779	4,638	2,416
- davon nur Pkw	0,172	4,297	4,650	4,297	4,650	3,890	1,862	3,887	1,808
PU-Montageschaum	1,534	1,553	1,553	0,688	0,688	0,034	0,034	0	0
PU-Schäume	0	0,797	1,133	0,477	0,634	0,477	0,634	0,168	0,060
XPS-Schäume	0	1,438	1,798	1,028	1,287	0,900	1,077	0,236	0,030
Dosieraerosole	0	0,717	0,963	0,451	0,607	0,451	0,607	0,370	0,283
Andere Aerosole	0,318	0,339	0,339	0,339	0,339	0,212	0,212	0,003	0,003
Feuerlöschmittel/Sonstiges	0,012	0,069	0,165	0,046	0,087	0,046	0,087	0,033	0,042
Insgesamt (Verw. inkl. Mg)	2,269	15,653	17,560	13,359	14,828	10,468	9,109	9,145	5,606
Sonstiges (Produktion)	4,212	2,851	2,851	0,394	0,394	0,394	0,386	0,276	0,268
Insgesamt	6,481	18,504	20,412	13,753	15,222	10,862	9,496	9,421	5,874

1. Stationäre Kälte- und Klimaanlage

Vorbemerkung. Bei stationären wie bei mobilen Kälte- und Klimaanlage gibt es zwischen den beiden ersten Szenarien "Ohne Maßnahmen ab 1999" und "Mit Maßnahmen bis 2003" keine Unterschiede – von der Industriekälte abgesehen. Der Grund dafür ist, dass es von 1995 bis 2003 praktisch keine Maßnahmen gab, welche den laufenden Umstieg von chlorhaltigen Kältemitteln auf HFKW beeinträchtigten. Vielmehr wurden (und werden) die alten Bestände von FCKW/HFCKW zügig durch HFKW-Kältemittel ersetzt – bei Kälteanwendungen auf gleichem und bei Klimaanlageanwendungen auf höherem Niveau. Natürliche Kältemittel spielen trotz spektakulärer Einzelfälle erst eine untergeordnete Rolle. Der wichtige Ersatz von FCKW durch Kohlenwasserstoffe anstatt durch HFKW bei Haushaltskühlgeräten fand vor 1995 statt und geht nicht mehr in das "Ohne Maßnahmen-Szenario" ein, welches die Entwicklungen der Jahre 1995-1998 in die Zukunft verlängert.

Sektor für Sektor werden nachfolgend die Annahmen, die den Emissionsprognosen 2010/2020 zugrunde liegen, skizziert. Da die Emissionsabschätzung für Kälte- und Klimaanlage sehr komplex ist, sei der Leser auf weitere Angaben in der Studie "Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002" (Schwarz 2005) verwiesen.

a. Industriekälte

Sowohl in den Szenarien "Ohne Maßnahmen" als auch "Mit Maßnahmen bis 2003" ist bei der Industriekälte eine Emissionsrate (ER) auf den mittleren Jahresbestand von 7% zugrunde gelegt, und bei der Entsorgung gilt eine Verlustrate von 30%. Befüllemissionen betragen 0,15% des inl. Neuverbrauchs. Die Zahlen orientieren sich am Aufbau eines Kältemittel-Zielbestands, der kein Wachstum gegenüber heute vorsieht, sondern maximal bis auf die alten FCKW/HFCKW-Mengen ansteigt.

Die Emissionen sind im ersten Szenario höher als im zweiten, weil es um etwa 25% höhere Anteile von HFKW-Kältemitteln im Verhältnis zu Ammoniak und CO₂ annimmt. Das zweite Szenario greift dagegen zwischen 1999 und 2003 feststellbare Trends auf, die auf stärkeren Ersatz von R-22 durch Ammoniak schließen lassen.

Im dritten Szenario "EU-Gesetzgebung 2007" wird gegenüber den beiden ersten Szenarien die geplante allgemeine Wartungspflicht (ab dem Jahr 2007) in Rechnung gestellt. Dabei sinkt die lfd. ER innerhalb von fünf Jahren von 7 auf 6% (in 2011). Die Entsorgungsverluste am Lebensende betragen ab 2007 statt 30% nur 20%. Die Befüllemissionen bleiben 0,15% des Neuverbrauchs im Inland.

Das vierte Szenario "Mit weiteren Maßnahmen" legt das vorherige zugrunde. Zusätzlich werden Neuanlagen, die heute mit HFKW befüllt würden, ab dem Jahr 2010 in diesem Szenario zunächst mit 25%, steigend bis zum Jahr 2020 auf 50%, nur noch mit natürlichen Kältemitteln ausgestattet. Alle Emissionsfaktoren (lfd. ER, Entsorgungs-ER, Befüll-ER) bleiben wie im dritten Szenario.

b. Gewerbekälte

Die Annahmen für die ersten beiden Szenarien "Ohne Maßnahmen ab 1999" und "Mit Maßnahmen bis 2003" sind ähnlich wie bei der Industriekälte: kein Mengenwachstum und zunächst konstante ER auf den Bestand (vor Ort verlegte neue Systeme 10%, Altanlagen 15%, Verflüssigungssätze 5% und hermetische Anlagen 1,5%) und 30% Entsorgungsverlust. Als Befüllemmissionen werden auch hier 0,15% des Neuverbrauchs im Inland angenommen.

Im Szenario "EU-Gesetzgebung 2007" (Wartungspflicht für Anlagen über 3 kg) sinkt gegenüber den vorherigen Szenarien die lfd. ER bei vor Ort installierten Systemen von 10% in fünf Jahren bis auf 5% (in 2011), die von Einzelsätzen von 5% auf 3,5%. Die lfd. ER hermetischer Anlagen bleibt gleich. Der Entsorgungsverlust beträgt ab dem Jahr 2007 nur 20%. Als Befüllungsemissionen werden wiederum 0,15% des Neuverbrauchs im Inland angenommen.

Das Szenario "Mit weiteren Maßnahmen" setzt ab dem Jahr 2010 zusätzlich auf natürliche Kältemittel in Neuanlagen. Neuanlagen, die heute mit HFKW befüllt würden, werden ab dem Jahr 2010 in diesem Szenario zunächst mit 10%, steigend bis zum Jahr 2020 auf 50%, mit natürlichen Kältemitteln ausgestattet. Ansonsten werden die Annahmen des "EU-Gesetzgebung"-Szenarios zugrunde gelegt.

c. Stationäre Klimaanlage und Wärmepumpen

Stationäre Klimaanlage bestehen erstens aus großen, vor Ort montierten Einheiten mit einer Kälteleistung über 1000 kW (i. d. R. Turboanlagen), aus mittelgroßen, meist Schraubenverdichteranlagen, und aus Systemen im Leistungsbereich unter 200 kW (Scroll- und Kolbenanlagen), die vorwiegend als Kaltwassersätze ausgelegt sind, und zweitens aus industriell gefertigten Raumklimageräten (Multi-Split-, Split-, Kompakt-Version), die direkt verdampfen. Anders als bei Industrie- und Gewerbekälte wird ein deutliches Wachstum des Anlagenbestands angenommen, nämlich bei Kaltwassersätzen eine Verdopplung in den nächsten zehn Jahren und bei Raumklimageräten eine Erhöhung des Bestands um 40% bis 2010. Bei Wärmepumpen wird sogar eine Verdreifachung des Bestands bis 2010 unterstellt. Aufgrund ihrer geringen spezifischen Kältemittelfüllung spielen Wärmepumpen beim HFKW-Bestand allerdings nur eine untergeordnete Rolle (ein Zehntel des HFKW-Bestands in Raumklimageräten, ein Zwanzigstel des HFKW-Bestands in stationären Flüssigkühlsätzen).

In den Szenarien "Ohne Maßnahmen ab 99" und "Mit Maßnahmen bis 2003" beträgt die ER auf den Bestand 6% bei größeren Klimaanlage und 2,5% bei industriell gefertigten Raumklimageräten. 2,5% ist auch die lfd. ER bei Wärmepumpen. Entsorgungsverluste werden mit 30% angesetzt. Befüllungsemissionen betragen je nach Anlagengröße zwischen 0,015% und 0,15% des Neuverbrauchs im Inland.

Im dritten Szenario "EU-Gesetzgebung 2007" greift die Wartungspflicht ab 2007 und resultiert bis 2011 in einer Senkung der lfd. ER von 6% auf 5% bei größeren Klimaanlage. Bei Raumklimageräten und Wärmepumpen bleibt die ohnehin niedrige

Rate gleich. Entsorgungsverluste sinken im Zuge erhöhter Sorgfalt generell auf 20% ab 2007, auch bei Raumklimageräten und Wärmepumpen.

Das Szenario „Mit weiteren Maßnahmen“ setzt wie in der Industrie- und Gewerbekälte (1a und 1b) zusätzlich auf natürliche Kältemittel ab dem Jahr 2010. Der Anteil HFKW-freier Systeme steigt bis 2020 von 25% bis auf 50%.

2. Mobile Kälte- und Klimaanlage

a. Pkw-Klimaanlagen

Die HFKW-Emissionen von mobilen Systemen stammen zu über 80% von Pkw. Der EU-Richtlinie über den Ausstieg aus HFKW-134a in Pkw-Klimaanlagen kommt daher eine Schlüsselrolle zu. Folgende Grundannahmen liegen allen Szenarien zugrunde: Pkw-Klimaanlagen werden in der spezifischen Füllmenge sinken, aber im Bestand noch lange zunehmen. Eine Sättigung wird bei 95% angenommen, die um 2017 erreicht sein dürfte.

In den Szenarien "Ohne Maßnahmen ab 1999" und "Mit Maßnahmen bis 2003" beträgt der Entsorgungsverlust (seit 2003 relevant) 30%, und die spezifischen Füllmengen setzen den Trend zur Verkleinerung um etwa 1% jährlich fort. Befüllemmissionen werden mit 2 g pro Anlage angesetzt, was auch in den beiden folgenden Szenarien gilt. Die lfd. Emissionsrate auf den HFKW-Bestand beträgt 10%. Auch diese Rate bleibt in den folgenden Szenarien gleich.

Das Szenario "EU-Gesetzgebung 2007" nimmt einen schrittweisen Ausstieg aus HFKW-134a in neuen Anlagen ab 2008 an, der sich bis Ende 2016 hinzieht. Die Einführungsdauer ist so lange, da ein Plattformwechsel nötig ist, nicht bloß ein Modellwechsel. Gesetzlich ist zwar erst 2011 das erste Jahr, von dem an Anlagen ohne HFKW-134a bei neuen Pkw-Plattformen zwingend sind. Jedoch wird hier damit gerechnet, dass die Automobilhersteller zugunsten eines flüssigeren Übergangs, wie angekündigt, auch schon vorher umstellen. Als Kältemittel enthalten neue Anlagen, dies ist die Unterstellung, zu 80% CO₂ und zu 20% den HFKW-152a – in fixem Verhältnis. Die Entsorgungsverluste betragen nicht mehr 30%, sondern nur 20%.

Das Szenario "Mit weiteren Maßnahmen" unterscheidet sich vom vorherigen nur dadurch, dass neue Anlagen als Alternative zu HFKW-134a ausschließlich CO₂ nutzen und der HFKW-152a nicht zum Einsatz kommt.

b. Andere mobile Klimaanlage

Die Einführung von CO₂ in Klimaanlage anderer landgebundener Fahrzeuge wie Lkw, Busse, Landmaschinen, Schienenfahrzeuge, ist im Prinzip an die Entwicklung bei den Pkw gekoppelt. Für ihre Klimaanlage sieht die in der Verabschiedung befindliche EU Richtlinie aber noch keinen verbindlichen Ausstieg aus HFKW-134a vor. Darum unterscheiden sich die drei Szenarien "Ohne Maßnahmen ab 99", "Mit Maßnahmen bis 2003" und "EU-Gesetzgebung 2007" grundsätzlich nicht

voneinander. Nur bei der Entsorgung wird angenommen, dass sich ab 2007 der Verlust auf 20% reduziert – gegenüber 30% in den ersten zwei Szenarien.

Die lfd. ER aus dem Kältemittelbestand beträgt jeweils 15% bei mittelschweren und schweren Lkw, bei Bussen, bei Schienenfahrzeugen und bei Ackerschleppern. Mähdrescher und Feldhäcksler weisen höhere Raten von 25% auf, leichte Nutzfahrzeuge (Straße) dagegen, wie Pkw, eine niedrigere von 10%.

Befüllemmissionen werden bei Bussen und Landmaschinen mit 5 Gramm pro Anlage angenommen, bei Lkw 2 Gramm pro Anlage. Bei Schienenfahrzeugen wird mit einem Anteil von 0,2% an der Füllmenge gerechnet.

Für die vier genannten Fahrzeugarten gibt es jeweils noch ein viertes Szenario "Mit weiteren Maßnahmen". Dieses nimmt an, dass beginnend mit 2013 bei neuen Anlagen bis 2017 statt HFKW-134a ausschließlich natürliche Kältemittel eingesetzt werden (CO₂, Luft). Die rechtliche Möglichkeit dafür ist in der kommenden EU-Gesetzgebung selbst angelegt, die eine Überprüfung (review) der Ausweitung des HFKW-134a-Ausstiegs auf andere mobile Klimaanlage vorsieht. Die zeitliche Verzögerung gegenüber Pkw-Klimaanlagen wiederum ergibt sich daraus, dass der HFKW-134a-Ausstieg vorerst noch nicht für sonstige mobilen Klimaanlage gilt.

Bei Schiffen gibt es, da aufgrund der geringen Kältemittelmengen eventuelle Unterschiede im Fehlerbereich untergehen würden, keine differenzierte Betrachtung in den vier Emissionsszenarien. Die lfd. ER beträgt 5%, die Befüllungs-ER 1%.

c. Kühlfahrzeuge

Folgende Grundannahme liegt den Szenarien zugrunde: Bei Kühlfahrzeugen wird ein weiteres Wachstum der Kältemittelbestände angenommen, aber (mit 1,25 v. H. jährlich) nicht mehr so dynamisch wie in den Jahren bis 2003.

"Ohne Maßnahmen ab 99" und "Mit Maßnahmen bis 2003": Die lfd. ER auf die Kältemittelbestände in den Kühlaggregaten beträgt 15%, der Entsorgungsverlust ist einmalig 30%. Befüllverluste betragen 5 Gramm pro inländisch befüllter Anlage.

Szenario "EU-Gesetzgebung 2007": Keine Änderungen gegenüber vorherigen Szenarien. Lediglich der Entsorgungsverlust sinkt ab 2007 von 30% auf 20%.

Das Szenario "Mit weiteren Maßnahmen" nimmt darüber hinaus an, dass die in der kommenden EU-Gesetzgebung vorgesehene Überprüfung (review) der möglichen Einbeziehung der Transportkälte in die Wartungspflicht verwirklicht wird, und zwar schrittweise von 2013 bis 2017. Damit sinken die lfd. Emissionen im gleichen Zeitraum von 15% auf 10%. Die Entsorgungsverluste bleiben 20%.

d. Kühlcontainer

Folgende Grundannahme liegt den Szenarien zugrunde: Die weltweiten Emissionen werden zu 10% Deutschland zugerechnet.

"Ohne Maßnahmen ab 1999" und "Mit Maßnahmen bis 2003": Die lfd. ER wird mit 10% und der Entsorgungsverlust mit 30% angenommen.

"EU-Gesetzgebung 2007": Keine Änderungen gegenüber den vorherigen Szenarien. Lediglich der Entsorgungsverlust sinkt ab 2007 von 30% auf 20%.

Szenario "Mit weiteren Maßnahmen" wie bei Kühlfahrzeugen (Wartungspflicht ab 2013). Die lfd. ER sinkt infolgedessen um 5% bis 2017: von 10% auf 5%.

3. Sonstige HFKW-Anwendungen

a. Asthmasprays

Folgende Grundannahmen liegen den Szenarien zugrunde: Das Marktwachstum beträgt dauerhaft 3% jährlich. Die Emissionen hängen davon ab, wie hoch jeweils der Anteil der Pulverinhalatoren ist.

Im Szenario "Ohne Maßnahmen ab 99" bleibt es bei der 1998er Aufteilung des Marktes in 75% Sprays (FCKW/HFKW) und 25% Pulverinhalatoren.

Dagegen schreibt das Szenario "Mit Maßnahmen bis 2003" den mittlerweile auf 45% gestiegenen Pulveranteil fest, so dass auf Sprays nur 55% des Marktes kommen.

Die "EU-Gesetzgebung 2007" berührt die medizinischen Aerosole nicht. Darum besteht kein Unterschied zum zweiten Szenario.

Das Szenario "Mit weiteren Maßnahmen" sieht vor, dass der Pulveranteil bis zum Jahr 2010 auf 55% und bis zum Jahr 2020 auf 75% ansteigt.

b. Allgemeine Sprays und Lösemittel

"Allgemeine Sprays" umfassen technische Sprays (v. a. Druckluft- und Kältesprays), Haushalts-Sprays (v. a. Abflussreiniger) und "Novelties" (z. B. Party- und Luftschlangen-Sprays). In sehr geringem Umfang kommt in technischen Sprays auch der HFKW-43-10mee als Lösemittel vor, der sonst in – ebenfalls begrenzter Menge (2.BImSchV!) – zur industriellen Feinreinigung empfindlicher Oberflächen genutzt wird. Wegen ihrer geringen Marktbedeutung und aus Gründen der Vertraulichkeit werden HFKW-Lösemittel unter "Allgemeinen Sprays" mitgeführt.

Sowohl im Szenario "Ohne Maßnahmen ab 99" als auch im Szenario "Mit Maßnahmen bis 2003" bleibt es dauerhaft bei den Mengen, die sich zwischen 1995 bis 2003 als recht stabil erwiesen haben: Es wurden in diesem Zeitraum jährlich etwas über 160 t HFKW (hauptsächlich 134a) in Technik- und Haushalts-Sprays (einschl. geringer Mengen Lösemittel) und weitere 100 t in "Novelties" eingesetzt.

Im Szenario "EU-Gesetzgebung 2007" gibt es ab 2009 (zwei Jahre nach Inkrafttreten der Verordnung) keine HFKW mehr für "Novelties".

Nach "Mit weiteren Maßnahmen" werden spätestens ab dem Jahr 2010 auch keine HFKW mehr in allgemeinen Aerosolen eingesetzt – bis auf winzige Restbestände.

c. Feuerlöschmittel

Im den beiden ersten Szenarien "Ohne Maßnahmen ab 99" und "Mit Maßnahmen bis 2003" wird außer HFKW-227ea auch HFKW-23 und HFKW-236fa eingesetzt (ER 1%, 2% und 5%). Das Wachstum im Bestand beträgt bis 2018 etwa 8% jährlich, um die bestehenden Halone zu ersetzen – durch 50 t jährlichen Neuzugang von HFKW-227ea und zu geringerem, aber steigendem Teil von HFKW-23 mit 5 t (2010) bzw. 10 t jährlich (2020). Das Löschmittel HFKW-236fa ist auf militärische Nutzung beschränkt. Entsorgungsverluste betragen 2% bei HFKW-227ea und 5% bei HFKW-23 und HFKW-236fa. Befüllemisssonen liegen bei 0,1%.

"EU-Gesetzgebung 2007": keine Änderung gegenüber Szenario I und II.

Das vierte Szenario "Mit weiteren Maßnahmen" unterscheidet sich von den vorherigen dadurch, dass es zu keiner Nutzung der Zulassung von HFKW-23 kommt.

d. Halbleiter

Von den HFKW wird hier nur der HFKW-23 (CHF_3) eingesetzt. Das Szenario "Ohne Maßnahmen ab 99" schreibt die Bedingungen von 1995 bis 1998 unverändert fort. Auf den durchschnittlichen Emissionswert der Jahre 1995-1998 wird die damalige jährliche Wachstumsrate der Emissionen von 10% bis 2010 bzw. 2020 angelegt.

Die Szenarien "Mit Maßnahmen bis 2003", "EU-Gesetzgebung 2007" und "Mit weiteren Maßnahmen" nehmen an, dass bis zum Jahr 2010 die Emissionen auf 10% unter das Niveau von 1995 fallen. Dies entspricht der weltweit eingegangenen Selbstverpflichtung aus dem Jahr 1999. Zwar hat die deutsche Halbleiterindustrie die weltweite Selbstverpflichtung bisher noch nicht in eine deutsche Selbstverpflichtung übertragen. Entsprechende Aktivitäten stehen aber kurz vor einem formalen Abschluss. Auch hat die deutsche Halbleiterindustrie unabhängig vom Fehlen einer deutschen Selbstverpflichtung bereits seit 1999 technische Maßnahmen eingeleitet und umgesetzt. Bis 2020 bleiben die Emissionen dann konstant.

4. Schaumstoffe

a. XPS-Schaum

Generell wird bis zum Jahr 2010 und weiter bis 2020 ein Wachstum von inländischer Produktion und inländischem Verbrauch von XPS um 2% jährlich angenommen. Bei Nutzung von HFKW-152a emittiert das Treibmittel vollständig im Produktionsjahr (Erstjahr-ER: 100%). Es bleibt kein HFKW im Dämmstoff, so dass keine HFKW-Bank entsteht, aus der lfd. Emissionen (Nutzphase) entweichen könnten (Lfd. ER = 0%). Bei Nutzung des HFKW-134a emittieren nur 25% (ab 2004) im Produktionsjahr (Erstjahr-ER: 25%), während 75% im XPS-Produkt verbleiben. Die lfd. ER aus der Nutzung beträgt dann 0,66% jährlich. Zu beachten ist jedoch, dass nur ein Teil der 134a-haltigen Jahresproduktion den Inlandsbestand erhöht, da 75% der produzierten Menge exportiert werden. (Die in den exportierten XPS-Dämmstoffen enthaltenen HFKW müssen der Bank der jeweils importierenden Länder zugerechnet werden.)

"Ohne Maßnahmen": Es wird ein 1:1-Umstieg von den in 1998 eingesetzten HFCKW-Mengen auf HFKW unterstellt. Diese sind etwa zur Hälfte HFKW-134a und -152a.

"Mit Maßnahmen bis 2003": Beim effektiven HFCKW-Ausstieg in 2001 wurde ein beträchtlicher Teil der XPS-Platten schon ohne halogenierte Treibmittel produziert. Die jährlichen HFKW-Einsatzmengen sind daher niedriger als im ersten Szenario und teilen sich unter Fortschreibung der 2001er Relation bis 2010 in 2343 t HFKW-134a und 1673 t HFKW-152a auf. Die Mengen steigen bis 2020 auf 2856 t (HFKW-134a) bzw. 2040 t (HFKW-152a).

Obwohl die "EU-Gesetzgebung 2007" keine Maßnahmen für XPS-Schaum vorsieht, so dass die gleichnamige Bezeichnung für das dritte Szenario nur mit Einschränkungen passt, reflektiert das dritte Szenario gegenüber dem zweiten einige Änderungen, die in der Diskussion der XPS-Produzenten um eine mögliche SV entstanden: HFKW-134a wird auf bestehenden Anlagen wie im zweiten Szenario weitergenutzt. Dagegen wird der Einsatz von HFKW-152a bis 2020 schrittweise auf Null gebracht. Die Alternative zu 152a ist CO₂, zumindest zu 90%. Zehn Prozent der XPS-Produkte, für die im zweiten Szenario HFKW-152a genutzt wurde, werden mit HFKW-134a geschäumt. Diese zusätzlichen HFKW-134a-haltigen Platten werden zu 75% exportiert.

Szenario „Mit weiteren Maßnahmen“: In diesem Szenario wird zugrunde gelegt, dass auch die Anwendung des HFKW-134a bis zum Jahr 2010 schrittweise auf 20% (harte Fälle) reduziert wird und bis zum Jahr 2020 ganz eingestellt ist. Damit bleiben nur noch die Emissionen aus der Nutzphase bestehen.

b. PU-Schaum

Generell wird ab 2004 bis zum Jahr 2010 bei PU-Hartschaum ein Wachstum des Verbrauchs von 3% jährlich angenommen, aber ab 2011 wird konstanter Verbrauch unterstellt. Das neue Treibmittel ist der HFKW-365mfc, genauer eine Mischung aus 93% HFKW-365 und 7% HFKW-227ea. Das konkurrierende Treibmittel HFKW-245fa wird hier nicht gesondert betrachtet, sondern gilt als mit erfasst. Der HFKW-134a kam bis 2003 bei Hartschaum in Sandwichplatten zum Einsatz. Im kleinen Bereich der Integral-Schäumung wird er auch nach 2004 weiter genutzt. Hier teilt er sich den kleinen Markt zunächst mit HFKW-365mfc im Verhältnis 3 zu 1.

"Ohne Maßnahmen ab 1999": Die großen PU-Sektoren der Kühlgeräte, Sandwich-Elemente (bis auf ein Produktionswerk) und Baudämmplatten haben bis 1998 auf Kohlenwasserstoffe (Pentane) als Treibmittel umgestellt. Angenommen wird, dass die noch verbliebenen HFCKW-Mengen (für 1998 auf 3000 t/a geschätzt) gänzlich durch neue HFKW (365mfc mit 227ea-Zusatz) ersetzt werden. HFKW-134a bleibt bei Sandwichelementen im Einsatz. Zudem werden HFKW dauerhaft für Integralschaum genutzt mit konstanten 80 t/a – 60 t HFKW-134a und 20 t HFKW-365mfc.

"Mit Maßnahmen bis 2003": Zwischen 1998 und 2003 gingen weitere HFCKW-Anwendungen auf Kohlenwasserstoffe über. Ende 2003 wurde gegenüber 1998 nur noch die Hälfte an HFCKW-141b (1500 t/a) verbraucht. Angenommen wird bei PU-

Hartschaum ab 2004 ein 1-zu-1-Umstieg dieser Menge auf HFKW-365mfc, die bis 2010 jährlich um 3% zunimmt. (Der Einsatz von HFKW-134a beim Hartschaum für Sandwichelemente wurde im Laufe des Jahres 2003 eingestellt.) Einsatzgebiete für HFKW-365mfc sind diskontinuierlich hergestellte Dämmplatten (Kleinserien), Blockschaum, Rohrisolierung (Fernwärme + Gießschaum) und vor allem Spritzschaum. Der HFKW-Einsatz für Integralschaum bleibt wie im Szenario "Ohne Maßnahmen".

Die durchschnittlichen Erstjahremissionen beim PU-Hartschaum sind aufgrund des großen Anteils von offen appliziertem Spritzschaum in der Produktpalette relativ hoch, nämlich 15%. Sie liegen damit höher als im ersten Szenario (12,5%), wo der Spritzschaum ein relativ geringeres Gewicht hat. Die lfd. ER für die Nutzphase (Bank) beträgt generell 1%. Beim Integralschaum emittiert das eingesetzte Treibmittel vollständig in der Produktion.

Da die "EU-Gesetzgebung 2007" keine Maßnahmen für PU-Schaum vorsieht, unterscheidet sich das dritte Szenario nicht vom zweiten.

"Mit weiteren Maßnahmen": Es findet kein 1-zu-1-Umstieg von HFCKW-141b auf neue, flüssige HFKW statt, sondern nur ein Teilumstieg. Es werden keine HFKW bei der Rohrisolierung eingesetzt. Bei diskontinuierlichen Platten (Kleinserie) werden HFKW nur zu 20% gegenüber den beiden vorigen Szenarien genutzt. Ab 2008 gibt es kein HFKW-Wachstum mehr, und ab 2015 werden keine HFKW mehr eingesetzt. Bei Spritz- und Blockschaum erfolgt der HFKW-Einstieg gegenüber dem "Mit Maßnahmen bis 2003"-Szenario nur zu 50%. Ab 2008 gibt es kein HFKW-Wachstum mehr und ab 2015 eine Halbierung des HFKW-Verbrauchs. Beim Integralschaum wird ab 2008 bis abschließend zum Jahr 2014 auf HFKW verzichtet.

c. Montageschaum (einkomponentig)

Im Szenario "Ohne Maßnahmen ab 99" werden die Bedingungen des Jahres 1998 langfristig beibehalten: Der Inlandsmarkt beträgt 26 Mio. Dosen, der HFKW-Gehalt pro Dose 70 Gramm, die Relation zwischen 134a und 152a ist 60 zu 40. Die inländische Abfüllung beträgt 16 Mio. Dosen, wobei 1,5 Gramm Treibgas (nur 134a) pro Dose bei der Befüllung entweichen.

Das Szenario "Mit Maßnahmen bis 2003" nimmt dagegen an, dass der Markt 22 Mio. Dosen umfasst (Durchschnitt der Jahre 1995-2003). Der HFKW-Gehalt pro Dose (750 ml) bleibt auf dem Status quo des Jahres 2003 mit nur noch 47 Gramm, ebenso wie die inzwischen auf 44,5 zu 55,5% veränderte HFKW-Zusammensetzung zwischen 134a und 152a. (Inlandsabfüllung: 26 Mio. Dosen – wie 2003).

Das Szenario "EU-Gesetzgebung 2007" nimmt die Bestimmung der EU-Verordnung ab 2008 als geltend an, dass HFKW-haltiger Montageschaum nur noch in Verkehr gebracht werden darf, wenn dies zur Einhaltung nationaler Sicherheitsnormen erforderlich ist. Zur Vereinfachung wird für das Szenario angenommen, dass HFKW weiterhin dort eingesetzt werden, wo gemäß Herstellerangaben das Treibmittel aus Sicherheitsgründen schwer entflammbar sein muss. Diese Menge haben Hersteller

auf 5% des inländischen Verbrauchs (z. B. untertage) beziffert. Der Angabe entsprechend wird eine Reduktion HFKW-haltiger Schaumdosen bei Absatz und Produktion um 95% gegenüber dem zweiten Szenario angenommen. Markt und Produktion werden durch brennbare Treibmittel bestimmt. Die Brandschutzklasse B2 wird mittels veränderter Formulierungen dennoch eingehalten. HFKW-Gehalt und HFKW-Zusammensetzung bei den verbleibenden Dosen bleiben wie im zweiten Szenario.

Szenario "Mit weiteren Maßnahmen": Verkaufs- und Produktionszahlen wie vorher. Auch die 5% HFKW-haltigen Dosen mit einkomponentigem Montageschaum erweisen sich als nicht notwendig und werden durch brennbare Treibmittel (Propan, Butan, Dimethylether) ersetzt. Für Zweifelsfälle bleibt die Möglichkeit, zweikomponentigen Schaum (ohne HFKW) zu verwenden. Ab 2010 werden keine HFKW mehr eingesetzt, weder bei Produktion noch bei Anwendung.

III-B. FKW

Tab. B1 Entwicklung der FKW-Emissionen (in t)

Sektoren	Ausgangs- Werte	Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
	1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Aluminiumproduktion	230	141	141	60	60	60	60	48	48
Halbleiterherstellung	23	85	221	20	20	20	20	20	20
Leiterplattenfertigung	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Kältetechnik	1,2	9,5	5,6	9,5	5,6	7,6	3,3	7,5	2,4
Insgesamt	256	238	370	92	88	90	86	78	73

Tab. B2 Entwicklung der FKW-Emissionen (in Mio. t CO₂- Äquivalente)

Sektoren	Ausgangs- Werte	Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
	1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Aluminiumproduktion	1,552	0,953	0,953	0,408	0,408	0,408	0,408	0,325	0,325
Halbleiterherstellung	0,177	0,682	1,769	0,159	0,159	0,159	0,159	0,159	0,159
Leiterplattenfertigung	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
Kältetechnik	0,008	0,079	0,051	0,079	0,051	0,061	0,030	0,061	0,022
Insgesamt	1,750	1,727	2,786	0,658	0,631	0,641	0,610	0,558	0,519

1. Aluminium

"Ohne Maßnahmen ab 1999": Hier wird die Selbstverpflichtung (SV) der Aluminium-Industrie von 1990 angenommen, die bis zum Jahr 2005 die spezifischen CF_4 -Emissionen pro Tonne Al auf 0,22 kg halbieren wollte. Dieser Wert wird danach konstant gehalten und mit einer jährlichen Metallproduktion von 583.872 t multipliziert, dem durchschnittlichen Hüttenausstoß der Jahre 1995-1998.

Die folgenden drei Szenarien rechnen mit höheren Produktionsmengen, nämlich 653.000 t/a. Dies ist der Durchschnitt der Jahre 2000-2003. Ev. Kapazitätsabbau durch immer wieder diskutierte Hüttenstilllegungen wird nicht berücksichtigt.

Sowohl das Szenario "Mit Maßnahmen bis 2003" als auch das "Szenario "EU-Gesetzgebung 2007" (letztere berührt die Aluminiumindustrie nicht) schreiben die spezifischen CF_4 -Werte pro Tonne Aluminium, die im Durchschnitt der Jahre 2000 bis 2003 bestanden, fort. Dieser Koeffizient betrug nach Angaben des Verbands im Mittel aller Hütten nur 0,084 kg/t Al.

Aufgrund der erfolgreichen Emissionsminderung durch die Alu-Industrie nimmt das "Mit weiteren Maßnahmen"-Szenario an, dass der Prozess noch weitergeht. Unterstellt wird, dass alle inl. Hütten ab 2009 die emissionsärmere Pointfeeder-Technologie eingeführt haben, so dass der spezifische Wert CF_4 pro Tonne Aluminium sowohl 2010 als auch 2020 nur noch 0,067 kg beträgt.

2. Kältetechnik

In allen Szenarien wird angenommen, dass der – geringe - Bestand von R-218 als Servicekältemittel in Altanlagen ab 2013 entfernt ist. In 2010 sind daher noch Emissionen aus Betrieb (15% ER) und Entsorgung (50% ER) zu erwarten.

Der zweite FKW, R-116, ist Bestandteil des Tieftemperatur-Kältemittels R-508B. Er wird in Neuanlagen der Industrie- und Gewerbekälte genutzt. Die Szenarien sind in ihren Einsatzmengen, spezifischen Emissionsraten und Anteilen natürlicher Kältemittel mit denen identisch, die bei den HFKW-Kältemitteln beschrieben wurden.

3. Leiterplattenfertigung

Es wurden keine getrennten Szenarien gerechnet, sondern überall eine gleich bleibende Einsatzmenge von 2,4 t/a angenommen, von der 2 t/a emittieren.

4. Halbleiter

Vorbemerkung: Seit dem Jahr 2000 hat sich der Emissionsanstieg aus der Halbleiterindustrie deutlich verlangsamt. Während Emissionen neuerer PFCs wie C_3F_8 und C_4F_8 zunehmen, nehmen Emissionen der klassischen Gase C_2F_6 und CF_4 sogar tendenziell ab.

Im Szenario "Ohne Maßnahmen ab 99" werden die Bedingungen der Jahre 1995 bis 1998 in die Zukunft fortgeschrieben. Für jeden PFC-Typ wird auf seinen Durchschnittswert aus den Jahren 1995 bis 1998 eine jährliche Wachstumsrate der Emissionen von 10% bis 2010 bzw. 2020 angelegt, da dies die Größenordnung in den Jahren 1995 bis 1998 war.

Die Szenarien "Mit Maßnahmen bis 2003", "EU-Gesetzgebung 2007" und "Mit weiteren Maßnahmen" nehmen an, dass bis zum Jahr 2010 die Emissionen auf 10% unter das Niveau von 1995 fallen. Dies entspricht der weltweit eingegangenen Selbstverpflichtung aus dem Jahr 1999. Zwar hat die deutsche Halbleiterindustrie die weltweite Selbstverpflichtung bisher noch nicht in eine deutsche Selbstverpflichtung übertragen. Entsprechende Aktivitäten stehen aber kurz vor einem formalen Abschluss. Auch hat die deutsche Halbleiterindustrie unabhängig vom Fehlen einer deutschen Selbstverpflichtung bereits seit 1999 technische Maßnahmen eingeleitet und umgesetzt. Bis 2020 bleiben die Emissionen dann konstant.

III-C. SF₆

Tab. C1 Entwicklung der SF₆-Emissionen (in t)

Sektoren	Ausgangs- Werte	Ohne Maßnahmen (Weiter wie 1995-1998)		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
	1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
El. Energieübertragung	43,4	47,5	47,7	28,7	28,9	28,7	28,9	22,5	16,6
Sonst. El. Anwendungen	5,2	17,0	17,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0
Magnesiumguss	7,7	40,9	70,8	33,1	53,1	4,0	7,0	0	0
Schallschuttscheiben	107,9	127,0	198,5	95,3	162,0	84,3	149,1	84,3	149,1
Autoreifen	110,0	30	30	2,5	2,5	0	0	0	0
Sportsch./NAEWF/Glasfaser	18,5	10	10	10	10	10	10	10	10
Tracergas/Aluminiumreinigung	1,0	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	0,5	0,5
Sonstiges	9,0	16,6	27,2	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
Insgesamt	303	329	442	228	315	185	253	134	193

Tab. C2 Entwicklung der SF₆-Emissionen (in Mio. t CO₂- Äquivalente)

Sektoren	Ausgangs- Werte	Ohne Maßnahmen (Weiter wie 1995-1998)		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
	1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
El. Energieübertragung	1,036	1,135	1,140	0,685	0,690	0,685	0,690	0,537	0,398
Sonst. El. Anwendungen	0,125	0,405	0,405	0,142	0,142	0,142	0,142	0,118	0,118
Magnesiumguss	0,185	0,977	1,692	0,791	1,269	0,096	0,167	0	0
Schallschuttscheiben	2,578	3,036	4,745	2,279	3,872	2,015	3,564	2,015	3,564
Autoreifen	2,629	0,717	0,717	0,060	0,060	0	0	0	0
Sportsch./NAEWF/Glasfaser	0,442	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
Tracergas/Aluminiumreinigung	0,024	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968	0,012	0,012
Sonstiges	0,216	0,397	0,650	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283
Insgesamt	7,235	7,875	10,556	5,447	7,523	4,427	6,054	3,204	4,614

1. Elektrische Energieübertragung

Bei elektrischen Betriebsmitteln zur Energieübertragung werden sowohl Schaltanlagen der Hoch- und Mittelspannung als auch dazugehörige Bauelemente (Wandler, Durchführungen) auf Basis der Daten von ZVEI und VDN berücksichtigt. Alle Szenarien nehmen beim SF₆-Inlandsverbrauch (hoher Exportanteil) einen jährlichen Anstieg von 2,5% an, der überwiegend durch MS-Anlagen bestimmt ist. Der inländische Bestand steigt von 2003 bis 2010 von 1,5 auf 1,9 Mio. t an. Dann beginnt in größerem Maße die Entsorgung, so dass der Gesamtbestand bis 2020 nur auf knapp 2,1 Mio. t wächst, die je zur Hälfte in HS- bzw. MS-Anlagen enthalten sind.

Das Szenario "Ohne Maßnahmen ab 99" setzt die Emissionsraten des Jahres 1998 konstant. Werks- und Montageverluste bei Schaltanlagen der Hoch- und Mittelspannung bleiben bei 6,09 bzw. 1,96% - bezogen auf den inl. Verbrauch. Bei Bauelementen (tw. offene Anwendungen) bleiben die 14 t/a (absolut) bestehen. Die Verluste aus dem Bestand betragen 0,872% (HS) bzw. 0,1% (MS). Verluste am Lebensende werden mit 2% kalkuliert, weil schon seit Mitte der 90er Jahre die Funktionstüchtigkeit des Entsorgungskonzepts ("Re-Use") unterstellt werden konnte.

"Mit Maßnahmen bis 2003": Die bis 2003 abgesenkten Emissionsraten bleiben für die Zukunft konstant. Werks- und Montageverluste betragen in HS und MS nur je 1,5%, bei Bauelementen 22% (11,3 t/a absolut). Die Verluste aus dem installierten Bestand sind 0,82%. Die Verluste am Lebensende sind die gleichen wie im ersten Szenario.

Die EU-Gesetzgebung hat auf in Deutschland installierte elektrische Betriebsmittel keinen Einfluss. Darum sind die Emissionswerte des dritten Szenarios mit denen des zweiten identisch.

Das Szenario "Mit weiteren Maßnahmen" sieht die Ziele der in Diskussion befindlichen Selbstverpflichtung der deutschen Industrie und Betreiber als durchführbar an. Die Bestandemissionen gehen in HS allmählich bis auf 0,6% zurück und halten ihren niedrigen Wert von 0,1% in der MS. Werks- und Montageverluste bleiben bei Schaltanlagen bei 1,5%. Durch weitgehende Beendigung offener Anwendungen bei Bauelementen sinken dort die Werksverluste von 22% auf 3% ab. Die inländischen Gesamtemissionen unterschreiten 17 t in 2020 (nach 43 t in 1995).

2. Sonstige elektrische Anwendungen

Hier werden im Wesentlichen die Emissionen von Teilchenbeschleunigern (in Forschung, Industrie und Medizin) und Starkstromkondensatoren erfasst. Für Teilchenbeschleuniger werden in allen Szenarien unveränderter Bestand und konstante Rate der Betriebsemissionen (6%) angenommen.

Für die stark emittive Herstellung von Starkstromkondensatoren schreibt das Szenario "Ohne-Maßnahmen ab 1999" die Emissionen des Jahres 1998 in die Zukunft fort. Im Jahre 2002 wurde lt. Herstellerangaben der Plan zur Produktionseinstellung (bis 2010) gefasst; rückläufige Emissionen sind seit jenem

Jahr feststellbar. Davon ausgehend, nehmen das Szenario "Mit Maßnahmen bis 2003" und das Szenario "EU-Gesetzgebung 2007" für 2010 und 2020 lediglich noch 1 t/a Emissionen für Servicezwecke an. Auch diese Menge entfällt im letzten Szenario ("Mit weiteren Maßnahmen").

3. Magnesiumguss

Dem Trend der Jahre 1995-2003 folgend wird in allen Szenarien eine konstante Steigerung der Metallproduktion um jährlich 3000 t unterstellt, was zu 41.000 t in 2010 bzw. 71.000 t in 2020 führt.

Im Szenario "Ohne Maßnahmen ab 99" bleibt der Koeffizient "kg SF₆ pro Tonne Magnesiumguss" konstant auf dem historischen Wert von 1998, nämlich genau 1.

Das Szenario "Mit Maßnahmen bis 2003" verlängert die Zunahme des SF₆-Verbrauchs in den Jahren 2000 bis 2003 unverändert in die Zukunft. Die Zunahme zwischen 2000 und 2003 betrug 2000 kg pro Jahr. Der SF₆-Koeffizient pro t Mg beträgt 0,79 in 2010 und 0,72 in 2020. (2003: 0,83).

Im Szenario "EU-Gesetzgebung 2007" sinken die SF₆-Emissionen deutlich, da vorgesehen ist, ab 1.1.2008 die Anwendung dieses Schutzgases nur noch in Betrieben mit weniger als 850 kg jährlichem SF₆-Verbrauch zuzulassen.

Das Szenario "Mit weiteren Maßnahmen" geht darüber hinaus und unterstellt, dass spätestens ab 2010 kein SF₆ mehr zum Einsatz kommt, auch nicht in Kleinbetrieben.

Die Anwender von über 850 kg SF₆ verwenden ab 2008 andere Schutzgase, und zwar zu 75% HFKW-134a und zu 25% SO₂ oder Hydrofluorether. Dementsprechend muss das HFKW-Szenario "EU-Gesetzgebung 2007" einen Anstieg bei den Emissionen des HFKW-134a (von 0 auf 11 bzw. 17 t/a) berücksichtigen. Im Szenario "Mit weiteren Maßnahmen" sind die Werte 12 und 20 t/a. (Zu beachten ist, dass sich die spez. Einsatzmenge von 134a gegenüber SF₆ halbiert.)

4. Schallschutz

In allen vier Szenarien für 2010 und 2020 sind die Entsorgungsverluste aus dem Rückbau von Schallschutzscheiben nicht nur unverändert hoch (67 bzw. 143 t/a), sondern sie machen in 2020 überall mehr als die Hälfte aller inländischen SF₆-Emissionen aus. Bis 2020 ist daher die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Emissionsdämpfung von SF₆ begrenzt, da Rückgewinnung aus alten Schallschutzscheiben aus Kostengründen als undurchführbar gilt. Vor 2020 können Maßnahmen, welche die neue Nutzung von SF₆ unterbinden (wie die EU-Gesetzgebung) immerhin die Herstellungsemissionen stoppen und die Bestandsemissionen reduzieren.

Das Szenario "Ohne Maßnahmen ab 99" setzt den 1998er jährlichen Neuverbrauch von 111 t langfristig konstant. Er entspricht einem Verhältnis zwischen SF₆ und Argon im Scheibenzwischenraum von 30% zu 70%.

Das Szenario "Mit Maßnahmen bis 2003" nimmt an, dass es künftig bei den auf 10 t verringerten Emissionen des Jahres 2003 aus dem Neuverbrauch von 30 t/a bleibt.

Diese 10 t Befüllemmissionen entfallen in den beiden folgenden Szenarien "EU-Gesetzgebung 2007" und "Mit weiteren Maßnahmen", in denen ein Ende des Neuverbrauchs ab 2007 angenommen wird.

5. Autoreifen

Bei Autoreifen-Füllgas, einst die größte Einzelemissionsquelle von SF₆, hat sich das Konsumverhalten deutlich geändert. Das Szenario "Ohne Maßnahmen ab 99", das den Neuverbrauch von 1998 unverändert fortschreibt, gelangt zu 30 t Emissionen jährlich. Das Szenario "Mit Maßnahmen bis 2003" schreibt den Neuverbrauch des Jahres 2003 fort, der nur noch 2,5 t/a beträgt. Im Szenario "EU-Gesetzgebung 2007" gibt es 2010 aufgrund des Einsatzverbots ab 2007 keine (Entsorgungs-) Emissionen mehr. Das Szenario "MWM" braucht darüber nicht hinauszugehen.

6. Sportschuhe/NAEWF/Glasfasern

Aus Vertraulichkeitsgründen wird hier nicht nach Herstellungs- Bestands- und Entsorgungsemissionen unterschieden. Außerdem werden alle Emissionen aus Sportschuhsohlen, dem Radarbetrieb der NATO-AWACS-Aufklärungsflugzeuge (NAEWF), soweit deutschem Territorium zurechenbar, sowie aus der Fluordotierung von Glasfaserkabeln zusammengefasst. Dies ist insofern nur hypothetisch, als nämlich Emissionen für 2010/2020 aus Sportschuhsohlen in keinem Szenario mehr vorkommen, auch nicht in Szenario I "Ohne Maßnahmen ab 99". Denn der Hersteller NIKE hatte bereits 1998 weltweit mit der Umsetzung der Maßnahme begonnen, in Schuhsohlen SF₆ durch Stickstoff zu ersetzen. Der momentane Verlauf des NIKE Ausstiegprogramms lässt es als sehr wahrscheinlich erscheinen, dass es im Jahre 2010 keine SF₆-Emissionen aus dieser Quelle mehr gibt.

Für die prognostizierten Emissionen sind somit militärisches Flugzeugradar und die Glasfaserproduktion verantwortlich. Letztere, die Fluordotierung von Glasfasern für Netzkabel u. dgl., ist stark emissiv und in Deutschland seit 2002 relevant. Mangels besserer Prognosemöglichkeiten nehmen alle vier Szenarien die bei der Herstellung bislang jährlich anfallenden Emissionen als konstant an.

Ebenfalls Konstanz wurde für Emissionen durch das AWACS-Radar in allen vier Szenarien unterstellt.

7. Tracer-Gas und Aluminium-Reinigung

Die Emissionen aus der Anwendung von SF₆ als Tracer-Gas bleiben in allen Szenarien gleich, nämlich auf dem niedrigen Niveau der Jahre 1995 bis 2003.

Zur Reinigung von Aluminium in Gießereien (Schmelzen) wurden Mitte der neunziger Jahre jährlich nicht mehr als 0,5 t SF₆ (SF₆ als Zusatz zu einem Inertgasgemisch) eingesetzt. Seit 1998 jedoch wurde die Anwendung von purem SF₆ drastisch

ausgeweitet auf die unerwartet hohe Menge von 45 t im Jahr 2003. Mangels anderer Erkenntnisse wird bislang Neuverbrauch mit Emission gleichgesetzt. In den ersten drei Zukunftsszenarien werden vorläufig 40 t/a Emissionen aus dieser Anwendung unterstellt (Durchschnitt der Jahre 2002/2003), solange keine Herstellerpläne für eine Änderung bekannt sind. Das Szenario "Mit weiteren Maßnahmen" nimmt allerdings an, dass bis 2010 eine klimaneutrale Lösung in der Alu-Reinigung gefunden ist.

8. Halbleiter

Es wird das gleiche Schema wie bei HFKW-23 und FKW zu Grunde gelegt.

9. Sonstiges

Außer Produktionsverlusten bei der Herstellung sind hier einige kleinere Anwendungen enthalten, die für sich genommen sehr gering sind. Es wird mit konstanten 10 t/a Emissionen in allen Szenarien gerechnet.

Nähere Informationen zu allen Sektoren

Tiefergehende Angaben zur Emissionsermittlung in vierzig Anwendungssektoren von F-Gasen sind in der Studie "Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002" (Schwarz 2005) enthalten.

IV. Anhang

Tab. A1: HFKW ohne Kälteanwendungen

HFKW-Sonstige		1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Asthma-Dosieraerosole			Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Lfd. Emissionen [t]			W: 3%	W: 3%	W: 3%	W: 3%	W: 3%	W: 3%	W: 3%	W: 3%
HFC-134a	0	352	474	234	314	234	314	192	146	
HFC-227	0	88	118	49	66	49	66	40	31	
Befüll-Emissionen [t]										
HFC-134a		3	3	3	3	3	3	2	2	
HFC-227				1	1	1	1	1	0	
Summe aller Emiss.	0	443	595	286	384	286	384	235	179	
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t		717	963	451	607	451	607	370	283	
Sonst. Sprays/Lösemittel		1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
			Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Lfd. Emissionen [t]			W: 0%	W: 0%	W: 0%	W: 0%	W: 0%	W: 0%	W: 0%	W: 0%
HFC-134a (+43-10mee)	242	257	257	257	257	162	162	2	2	
HFC-152a	10	15	15	15	15	10	10	0	0	
Befüll-Emissionen [t]										
HFC-134a	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	0,00	0,00	0	0	
HFC-152a	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0	0	
Summe aller Emiss.	254	275	275	275	275	172	172	2	2	
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	318	339	339	339	339	212	212	3	3	
Feuerlöschmittel		1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
			Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Lfd. Emissionen [t]			W: 8%	W: 8%	W: 8%	W: 8%	8% W: 8%	W: 8%	W: 8%	W: 8%
HFC-227		5,3	7,5	5,3	7,5	5,3	7,5	5,3	7,5	
HFC-236fa		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
HFC-23		0,35	1,84	0,35	1,84	0,35	1,84			
Befüll-Emissionen [t]										
HFC-227		0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	
HFC-236fa		0,384	0,386	0,384	0,386	0,384	0,386	0,384	0,386	
HFC-23		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01			
Ents.-Emissionen [t]										
HFC-227			1,0		1,0		1,0		1,0	
HFC-236fa			0,075		0,075		0,075		0,075	
HFC-23			0,050		0,050		0,050			
Summe aller Emiss.		6,7	11,5	6,7	11,5	6,7	11,5	6,3	9,6	
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t		25,9	53,7	25,9	53,7	25,9	53,7	21,7	31	
XPS-Schaum		1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
			Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Erstjahr-Emissionen [t]			W: 2%	W: 2%	W: 2%	W: 2%	W: 2%	W: 2%	W: 2%	W: 2%
HFC-134a		765	932	586	714	630	769	126	0	
HFC-152a		2868	3496	1673	2040	335	0	335	0	
Lfd. Emissionen [t]										
HFC-134a		32,5	74,3	24,5	56,6	25,6	60,2	20	23	
HFC-152a										
Summe aller Emiss.	0	3666	4503	2283	2810	991	829	480	23	
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t		1.438	1.798	1.028	1.287	900	1.077	236	30	
PU-Montageschaum		1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
			Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Erstjahr-Emissionen [t]										
HFC-134a	1080	1092	1092	449	449	22	22	0	0	
HFC-152a	720	728	728	560	560	28	28	0	0	
Befüll-Emissionen [t]										
HFC-134a	22,5	24	24	17,4	17,4	1	1	0	0	
HFC-152a				21,6	21,6	1	1	0	0	
Summe aller Emiss.	1823	1844	1844	1048	1048	52	52	0	0	
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	1.534	1.553	1.553	688	688	34	34	0	0	
PU-Hart-/Integralschaum		1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
			Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Erstjahr-Emissionen [t]			W: 3%	W: 0%	W: 3%	W: 0%	W: 3%	W: 0%	W: 3%	W: 0%
HFC-134a		82	82	60	60	60	60			
HFC-365mfc		435	435	268	268	268	268	163	29	
HFC-227ea		33	33	20	20	20	20			
Lfd. Emissionen [t]										
HFC-134a		12	22	6	6	6	6	6	6	
HFC-365mfc		174	465	85	227	85	227	17	30	
HFC-227ea		13	35	6	17	6	17			
Summe aller Emiss.	0	749	1072	446	598	446	598	186	65	
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	0	797	1133	477	634	477	634	168	60	

Tab. A2: HFKW stationäre Kälteanwendungen

Stat. Kälte-Klima/WP	1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Lfd. Emissionen [t]		Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Industriekälte									
HFC-134a	4	114	114	104	104	92	89	91	55
R-404A	3	297	297	215	215	190	184	188	115
R-407C	1	21	21	21	21	19	18	18	11
HFC-23	0,7	6,65	6,7	6,65	6,7	5,9	5,7	5,8	4
HFC-227	0,1	5,1	5,1	5,1	5,1	4,5	4,4	4,4	2,7
PFC-116		0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,4
Ents.-Emiss. [t]									
HFC-134a		49	49	44	44	30	30	30	22,2
R-404A		127	127	92	92	61	61	61	46,0
R-407C		9	9	9	9	6	6	6	4,5
HFC-23		2,9	2,9	2,9	2,9	1,9	1,9	1,9	1,4
HFC-227		2,2	2,2	2,2	2,2	1,5	1,5	1,5	1,1
PFC-116		0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Befüll-Emiss. [t]									
HFC-134a	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
R-404A	0,1	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
R-407C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HFC-23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe ohne FKW	9	635	635	502	502	410	400	408	263
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	26	1.774	1.774	1.371	1.371	1.121	1.094	1.114	718
		Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Gewerbekälte	1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Lfd. Emissionen [t]									
HFC-134a	19	252	252	252	252	155	131	154	92
R-404A	18	613	613	613	613	373	313	371	217
R-407C	0	46	49	46	49	28	25	28	17
HFC-23	0,1	7,2	7,2	7,2	7,2	5,4	5,0	5,4	3,5
PFC-116	0	3,5	3,5	3,5	3,5	2,1	1,8	2,1	1,2
PFC-218	1,2	1,5		1,5		1,5		1,5	
HFC-152a	0,5								
HFC-125	15	0,7		0,7		0,7		0,7	
Ents.-Emiss. [t]									
HFC-134a		89	89	89	89	60	60	60	54
R-404A		201	201	201	201	134	134	134	121
R-407C		8	15	8	15	5	10	5,0	9
HFC-23		4,3	4,3	4,3	4,3	2,9	2,9	2,9	2,6
PFC-116		1,1	1,1	1,1	1,1	0,7	0,7	0,7	0,6
PFC-218		2,4		2,4		2,4		2,4	
HFC-152a									
HFC-125		1,8		1,8		1,8		1,8	
Befüll-Emiss. [t]									
HFC-134a	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,54	0,30
R-404A	0,5	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,09	0,67
R-407C		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,05
HFC-23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03	0,01
PFC-116		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,00
Summe Emiss. o. FKW	54	1.226	1.234	1.226	1.234	767	682	764	516
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	130	3.329	3.339	3.329	3.339	2.091	1.856	2.082	1.403
	1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Stat. Klima + WP		Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Lfd. Emissionen [t]									
HFC-134a	8,7	120,6	142,3	120,6	142,3	104,7	118,8	104,3	106,9
R-407C	0,02	170,6	212,5	170,6	212,5	152,7	180,9	151,2	134,5
R-410A		24,4	57,8	24,4	57,8	24,4	57,8	24,3	52,1
R-404A	0,01	1,3	2,3	1,3	2,3	1,3	2,3	1,3	1,7
Ents.-Emiss. [t]									
HFC-134a		11,7	39,7	11,7	39,7	7,8	26,5	7,8	26,5
R-407C		56,8	85,6	56,8	85,6	37,8	57,1	37,8	55,1
R-410A		2,2	56,5	2,2	56,5	1,5	37,6	1,5	35,6
R-404A		0,3	1,5	0,3	1,5	0,2	1,0	0,2	1,0
Befüll-Emiss. [t]									
HFC-134a	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
407C		0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07	0,05
Summe Emiss. o. FKW	9	388	598	388	598	331	482	328	413
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	11	570	901	570	901	487	727	484	623

Tab. A3: HFKW mobile Kälteanwendungen

HFKW Mobil Klima-Kälte	1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Pkw-Klimaanlagen		Ohne = mit Maßnahmen		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Lfd. Emissionen [t]							
HFC-134a	129	2691	2812	2580	938	2.580	938
HFC-152a				22	375		
Ents.-Emiss. [t]							
HFC-134a		604	755	403	453	403	453
HFC-152a				0	9		
Befüll-Emiss. [t]							
HFC-134a	3	10	10	7	0	7	0
HFC-152a				1	2		
Summe Emiss.	133	3305	3577	3013	1777	2990	1391
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	172	4.297	4.650	3.890	1.862	3.887	1.808
Lkw-Klimaanlagen		Ohne = mit Maßnahmen		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Lfd. Emissionen [t]							
HFC-134a	4	156	211	156	211	156	142
Ents.-Emiss. [t]							
HFC-134a		19	37	13	26	13	26
Befüll-Emiss. [t]							
HFC-134a	0,08	0,42	0,45	0,42	0,45	0,42	0
Summe Emiss.	4	176	249	169	237	169	168
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	5	228	324	220	309	220	218
Bus-Klimaanlagen		Ohne = mit Maßnahmen		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Lfd. Emissionen [t]							
HFC-134a	12	92	104	92	104	92	65
Ents.-Emiss. [t]							
HFC-134a		13	17	8	11	8	11
Befüll-Emiss. [t]							
HFC-134a	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0
Summe Emiss.	12	105	120	100	115	100	76
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	16	136	157	130	149	130	99
Landmaschinen Kl.		Ohne = mit Maßnahmen		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Lfd. Emissionen [t]							
HFC-134a	3	57	64	57	64	57	35
Ents.-Emiss. [t]							
HFC-134a		7	12	5	8	5	8
Befüll-Emiss. [t]							
HFC-134a	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0
Summe Emiss.	3	64	76	62	72	62	43
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	4	83	98	80	93	80	56
Schienenfahrz. Kl.		Ohne = mit Maßnahmen		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Lfd. Emissionen [t]							
HFC-134a	5,2	25	25	25	25	25	20
Ents.-Emiss. [t]							
HFC-134a			2		2		2
Befüll-Emiss. [t]							
HFC-134a	0,018	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0
Summe Emiss.	5,3	25	28	25	27	25	22
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	7	32	36	32	35	32	28
Schiffsklimaanlagen		Ohne = mit Maßnahmen		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Lfd. Emissionen [t]							
HFC-134a	0	2	4	2	4	2	4
Ents.-Emiss. [t]							
HFC-134a							
Befüll-Emiss. [t]							
HFC-134a	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Summe Emiss.	0,0	2,4	3,9	2,4	3,9	2,4	3,9
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	0	3,2	5,0	3,2	5,0	3,2	5,0
Kühlfahrzeuge		Ohne = mit Maßnahmen		EU-Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Lfd. Emissionen [t]							
HFC-134a	2	15	15	15	15	15	10
404A	7	42	47	42	47	42	31
410A	0,2	6	7	6	7	6	5
152a v. 401B							
218 v. 413A							
Ents.-Emiss. [t]							
HFC-134a		3	3	3	3	3	2
404A		7	9	7	9	7	6
410A		1,0	1,3	1,0	1,3	1,0	0,9
152a v. 401B							
218 v. 413A							
Befüll-Emiss. [t]							
HFC-134a	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Tab. A4: FKW

FKW		1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
			Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Aluminium Produktion										
Produktionsemissionen										
CF4	209		128,5	128,5	55	55	55	55	44	44
C2F6	21		12,8	12,8	5	5	5	5	4	4
Emiss FKW [t]	230		141,3	141	60	60	60	60	48	48
CO2-Äquiv. Tsd. t	1.552		953	953	408	408	408	408	325	325
Kältetechnik		1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Lfd. + Ents. Emiss. [t]			Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
C2F6 (R-116)			5,6	5,6	5,6	5,6	3,6	3,3	3,6	2,4
C3F8 (R-218)	1,2		3,9		3,9		3,9		3,9	
Emiss FKW [t]	1,2		9,5	5,6	9,5	5,6	7,6	3,3	7,5	2,4
CO2-Äquiv. Tsd. t	8,1		78,7	51,1	78,7	51,1	60,9	30,0	60,7	21,9
Leiterplattenfertigung		1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Fertigungsemissionen			Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
CF4	2		W: 0%	W: 0%	W: 0%	W: 0%	W: 0%	W: 0%	W: 0%	W: 0%
Emiss FKW [t]	2		2	2	2	2	2	2	2	2
CO2-Äquiv. Tsd. t	13		13	13	13	13	13	13	13	13
Halbleiter		1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Fertigungsemissionen			Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
C2F6			W: 10%	W: 10%	W: 5%	W: 5%	W: 5%	W: 5%	W: 5%	W: 5%
CF4										
C3F8										
c-C4F8										
Emiss FKW [t]	23		85	221	20	20	20	20	20	20
CO2-Äquiv. Tsd. t	177		682	1769	159	159	159	159	159	159
Total FKW			Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Total FKW Emiss [t]	256		238	370	92	88	90	86	78	73
Total Tsd t CO2 äqu	1.750		1727	2786	658	631	641	610	558	519

Tab. A5: SF₆ in allen Anwendungen

SF ₆ alle Anwendungen		1995	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
23900			Ohne Maßnahmen ab 99		Mit Maßnahmen bis 2003		EU Gesetzgebung 2007		Mit weiteren Maßnahmen	
Energieübertragung										
Herstellung Schaltanlagen t	20,0		22,5	22,7	6,9	7,0	6,9	7,0	6,8	6,9
Herstellung Bauelemente t	16,0		14,0	14,0	11,3	11,3	11,3	11,3	6,5	1,5
Bestands-Emiss t	7,3		10,5	10,1	9,9	9,6	9,9	9,6	8,7	7,3
Entsorgungs-Emiss t			0,5	0,9	0,5	0,9	0,5	0,9	0,50	0,9
Emiss gesamt t	43,4		47,5	47,7	28,7	28,9	28,7	28,9	22,5	16,6
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	1036		1135	1140	685	690	685	690	537	398
Sonstige Elektr. Anw.										
Herstellungs-Emiss t	0,7		12,02	12,02	1,02	1,02	1,02	1,02	0,02	0,02
Bestands-Emiss t	4,4		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Entsorgungs-Emiss t	0,07		0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Emiss gesamt t	5,2		17,0	17,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	125		405	405	142	142	142	142	118	118
Magnesiumguss										
Anwendungs-Emiss t	7,7		41	71	33,1	53,1	4,0	7,0	0,0	0,0
Emiss gesamt t	7,7		40,9	70,8	33,1	53,1	4,0	7,0	0,0	0,0
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	185		977	1692	791	1269	96	167	0,0	0,0
Schallschutzscheiben										
Herstellungs-Emiss t	92		37	37	10	10	0	0	0	0
Bestands-Emiss t	16		23	19	18	9	17	6,6	17	6,6
Entsorgungs-Emiss t			67	143	67	143	67	143	67	143
Emiss gesamt t	107,9		127,0	198,5	95,3	162,0	84,3	149,1	84,3	149,1
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	2.578		3.036	4.745	2.279	3.872	2.015	3.564	2.015	3.564
Autoreifen										
Entsorgungs-Emiss t	110		30	30	2,5	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Emiss gesamt t	110,0		30,0	30,0	2,5	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	2629		717	717	60	60	0,0	0,0	0,0	0,0
Sohlen/NAEWF/Glasfaser										
Emiss gesamt t	18,5		10	10	10	10	10	10	10	10
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	442		239	239	239	239	239	239	239	239
Tracergas/Alu-Reinigung										
Anwendungs-Emiss t	1,0		40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	0,5	0,5
Emiss gesamt t	1,0		40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	0,5	0,5
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	23,9		968	968	968	968	968	968	12	12
Sonstiges										
SF ₆	9		W: 10%	W: 10%	W: 5%	W: 5%	W: 5%	W: 5%	W: 5%	W: 5%
Emiss gesamt t	9		10	10	10	10	10	10	10	10
CO ₂ -Äquiv. Tsd. t	265		17	27	12	12	12	12	12	12
			397	650	283	283	283	283	283	283
Total SF₆										
Emiss gesamt t	303		329	442	228	315	185	253	134	193
Total Tsd t CO ₂ äqu	7.284		7.875	10.556	5.447	7.523	4.427	6.054	3.204	4.614