

Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit

FKZ 205 41 217/01
Teilvorhaben 1
Fluorierte Treibhausgase

Schlussbericht zum Forschungsvorhaben

Daten von H-FKW, FKW und SF₆ für die nationale
Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für die
Berichtsjahre 2004 und 2005

(F-Gas-Emissionen 2004/2005 und Unsicherheitsbestimmung im ZSE)

von

Dr. Winfried Schwarz

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

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

30. Oktober 2007

Berichts - Kennblatt

1. Berichtsnummer 205 41 217/01	2.	3.
4. Titel des Berichts Daten von H-FKW, FKW und SF ₆ für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für die Berichtsjahre 2004 und 2005		
5. Autoren, Namen, Vornamen Dr. Winfried Schwarz	8. Abschlussdatum 30.10.2007	
	9. Veröffentlichungsdatum November 2007	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Öko-Recherche, Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH, Münchener Str. 23, 60329 Frankfurt am Main	10. UFOPLAN - Nr. 205 41 217/01	
	11. Seitenzahl V + 80	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, D-06844 Dessau Fachbegleitung: Dr. Cornelia Elsner	12. Literaturangaben zahlreiche	
	13. Tabellen 7 + 6	
	14. Abbildungen	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Im Umweltbundesamt wurde in den letzten Jahren zur Erfüllung der Berichtspflichten gemäß Klimarahmenkonvention (UNFCCC) das Zentrale System Emissionen (ZSE) installiert. In dieser Studie werden die Emissionsdaten der fluorierten Treibhausgase HFKW, FKW und SF ₆ (F-Gase) für die Jahre 2004 und 2005 präsentiert, wie Sie in das ZSE eingegeben werden. Erster Teil. Im Jahre 2005 betragen die Emissionen von F-Gasen 15,2 Mio. t CO ₂ -Äquivalente; das sind 1,5 Mio. t mehr als 2003. FKW nehmen seit 1995 ungebrochen ab. Emissionen von SF ₆ , die bis 2002 gesunken waren, steigen seit 2003 wieder an. Die HFKW-Emissionen setzten ihren Anstieg seit 1995 weiter fort und machen nun fast zwei Drittel aller F-Gas-Emissionen aus. Von den ehemals großen Anwendungsgebieten von FCKW und HFCKW, nämlich Kälte-Klimatechnik, Hartschaum, Lösemittel, Feuerlöscher, Aerosole bilden aber nur die stationäre und mobile Kälte-Klimatechnik den Kernbereich der HFKW. Die Tendenz zu steigenden Einsatz- und Emissionsmengen bei stationärer Kälte und mobilem Klima, insbesondere Pkw-Klima, hielt auch 2004/05 an. Abschnitt I des ersten Teils dieses Berichts enthält die F-Gas-Emissionsdaten für 2004 und 2005 sowie für 1995, 2000 und 2003. Abschnitt II des ersten Teils dokumentiert die Datenquellen der Erhebung für 2004 und 2005. Abschnitt III enthält Tabellen der F-Gas-Emissionen 1995 - 2005 – nach einzelnen Sektoren. Zweiter Teil. Die quantitative Angabe der Abweichungen von den berichteten F-Gas-Emissions-Daten ist im Rahmen der nationalen Berichterstattung unter der UNFCCC gefordert und ist Bestandteil des Emissionsinventars im Zentralen System Emissionen (ZSE). Dieser Studie quantifiziert die Unsicherheiten als relative Abweichungen von den Eingabewerten des ZSE. Dabei ist der Eingabewert stets 1, und die Abweichungen nach oben und unten werden als Fraktionen von 1 bestimmt. Die Unsicherheitsbestimmung komplexer Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren folgt den Berechnungsweisen, welche die IPCC-Richtlinien von 1999 bzw. 2006 für kombinierte Unsicherheiten vorgeben. Zur Begründung werden meistens Schätzungen von Experten herangezogen – teils von externen Branchenexperten, teils von Öko-Recherche. Wo empirische Studien vorliegen, erfolgt die Bestimmung nach statistischen Standardmethoden. Die Unsicherheitsbestimmung wird in allen 37 Anwendungen fluorierter Treibhausgase durchgeführt.		
17. Schlagwörter Fluorierte Treibhausgase; Unsicherheiten, ZSE, Zentrales System Emissionen, Emissionen, F-Gase; Berichterstattung; Aktivitätsdaten; Emissionsfaktoren; HFKW, FKW; SF ₆ ; UNFCCC		
Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. 205 41 217/01	2.	3.
4. Report Title Data on HFCs, PFCs, and SF ₆ for the national emissions reporting under the Framework Convention on Climate Change for the reporting years 2004 and 2005		
5. Authors, Family Names, First Names Dr. Winfried Schwarz		8. Report Date 30.10.2007
		9. Publication Date November 2007
6. Performing Organization (Name, Address) Öko-Recherche, Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH, Münchener Str. 23, D-60329 Frankfurt am Main		10. UFOPLAN - Ref. No. 205 41 217/01
		11. No. of Pages V + 80
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (German Federal Environmental Agency), Wörlitzer Platz 1, D-06844 Dessau		12. No. of References Numerous
		13. No. of Tables 7 + 6
		14. No. of Figures
15. Supplementary Notes A full-length German version of this report is available at the sponsoring agency.		
16. Abstract The German Environmental Agency has installed the Centralised System of Emissions (ZSE) to satisfy the requirements of international greenhouse gas reporting pursuant to the Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). This study presents the 2004 and 2005 emissions data on the fluorinated greenhouse gases HFCs, PFCs, and SF ₆ (F-gases) to be entered into the ZSE. First part. In 2005, emissions of F-gases amounted to 15.2 million t CO ₂ equivalent; this is 1.5 million t more than in 2003. PFCs have been decreasing from 1995 onwards. Emissions of SF ₆ , which had decreased before 2002, are increasing again from 2003. HFC emissions continue rising since 1995; now they represent almost two thirds of the total German F-gas emissions. However, only refrigeration and air conditioning are still substantial applications of HFCs, while in the formerly large application sectors of CFCs and HCFCs, such as hard foam, fire extinguishers, and aerosols, natural fluids are being used widely, today. In stationary refrigeration and mobile air conditioning, the upward trend of HFCs in consumption and emissions is still ongoing in 2004 and 2005. Section I of the first part of this report shows the F-gas emissions data for 2004 and 2005, in addition to those on 1995, 2000 and 2003. In section II the data sources of the 2004 and 2005 survey are documented. Section III presents the F-gas emissions 1995 - 2005 in detailed tables, by individual sectors. Second part. Estimates of uncertainties associated with the annual emissions data are an essential element of the emission inventories required by the Framework Convention on Climate Change as well as the ZSE. This study quantifies the uncertainties as relative deviations from the input values of the ZSE. The input value is always 1, and its upward and downward deviations are fractions of 1. The uncertainty assessment of complex activity data and emission factors complies with the mode of calculation required by the 1999 and 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. The argumentation is mostly based on expert judgements given either by external sector sectors or by experts from Öko-Recherche. Where empirical studies are available, statistical standard methods could be used for uncertainty assessments. Uncertainty analysis is carried out in all the 37 application sectors of fluorinated greenhouse gases.		
17. Keywords Fluorinated Greenhouse Gases; Uncertainties; Emissions; Reporting; ZSE; Activity data; Emission factors; Hydrofluorocarbons (HFCs); Perfluorocarbons (PFCs); Sulphur Hexafluoride (SF ₆)		
Price	19.	20.

Summary in English

The German Environmental Agency has installed the Centralised System of Emissions (ZSE) to satisfy the requirements of international greenhouse gas reporting pursuant to the Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). This study presents the 2004 and 2005 emissions data on the fluorinated greenhouse gases HFCs, PFCs, and SF₆ (F-gases) to be entered into the ZSE.

Section I of the first part of this report shows the F-gas emissions data for 2004 and 2005, in addition to those on 1995, 2000 and 2003.

In 1995-2005, the emissions of HFCs, PFCs and SF₆ have doubled from 3,234 to 6,425 metric tons – slightly decreasing as of 2003. Unlike metric tons, the CO₂ equivalent of these emissions have slightly decreased over the same time period, from 15.46 to 15.19 million t CO₂ equivalent. Global warming emissions, however, have increased from 2003 onwards by almost 1.5 million t CO₂ equivalent. Behind these trends there are different tendencies that make it necessary to look separately at the three gas categories.

Emissions of Fluorinated Greenhouse Gases [metric t] 1995-2005					
	1995	2000	2003	2004	2005
HFC	2,675	4,063	6,537	6,281	6,121
PFC	256	110	121	117	101
SF ₆	303	213	183	191	204
Total	3,234	4,385	6,841	6,589	6,425

Emissions of Fluorinated Greenhouse Gases [million t CO₂ equivalent] 1995-2005					
	1995	2000	2003	2004	2005
HFC	6.482	6.490	8.441	8.879	9.600
PFC	1.750	0.786	0.858	0.830	0.718
SF ₆	7.237	5.086	4.377	4.571	4.868
Total	15.469	12.362	13.675	14.281	15.186

PFC emissions have continuously been dropping over the whole time period from 1995. SF₆ emissions have also decreased significantly from 1995; from 2003, however, they are rising again. Over the 1995-2005 periods, total HFC emissions have increased sharply in metric tons, from 2,670 to 6,121 tons. In terms of global warming (CO₂ equivalent) the rise was much slower – from 6.5 to 9.6 million t CO₂ equivalent. On the one hand, emissions of HFCs that have been specifically used as CFC substitutes have increased steeply; on the other hand, Chemical Industry succeeded in significantly reducing the unintended by-product emissions of the potent greenhouse gas HFC-23 associated with the production of HCFC-22. The HFC-23 emissions have been lowered from 4 million t CO₂ equivalent to less than 0.5 million t, since 1995, so that the overall rise of global warming HFC emissions could be decelerated. In 2004 and 2005, the HFC-23 emissions were not reduced further.

HFCs 1995-2005

Summarizing the ten years following the 1995 CFC ban, one can say that from the formerly six big application fields of ozone-depleting substances (ODS), namely

refrigeration, air conditioning, hard foam, solvents, fire extinguishers, and aerosols only refrigeration and air conditioning are the sectors where the transition from ODS to HFCs has run and is still running smoothly (solitary exemption is the 1994 changeover from CFCs to natural refrigerants in household refrigerators). In the other former ODS sectors, climate-friendly alternatives became accepted so widely that HFCs play only a minor role. In refrigeration and stationary air conditioning, HFC emissions are overtaking those of the former CFCs/HFCs in terms of mass. In mobile application, particularly in air conditioning of passenger cars, HFC emissions superseded that of the preceding ODS long ago even in terms of global warming.

PFCs 1995-2005

Thanks the efforts of the aluminium industry, overall emissions of PFCs have been reduced continuously from 1995. The reduction in emissions results from closures of smelting works as well as from drastic modernisation of the remaining smelters. PFC emissions from semiconductor manufacturing have not increased significantly in spite of the sharp growth in production and output.

SF₆ 1995-2005

SF₆ emissions have been reduced in the 1995-2005 period from 303 to 204 t metric tons (7.2 to 4.9 million t CO₂ equivalent. A closer look reveals that both in 2004 and in 2005 emissions increased against the previous years. Emissions from car tyres and from electrical switch gear including components kept on dropping. This reduction was compensated by a slight rise in emissions from magnesium casting, photo voltaic manufacturing, and sound proof windows (the latter emissions will go on rising until 2020 because of decommissioning of old windows installed 25 years before). The main reason for increased emissions was aluminium casting where the expansion in SF₆ use perpetuated also in 2004 and 2005. (It is still unproven that SF₆ is destructed on application to the greatest extent, so that consumption is equated with emissions until further notice).

In **section II** of this report the data sources of the 2004 and 2005 survey are documented, and **section III** presents the F-gas emissions 1995 - 2005 in detailed tables, by individual sectors.

Second part. Estimates of uncertainties associated with the annual emissions data are an essential element of the emission inventories required by the Framework Convention on Climate Change as well as the ZSE. This study quantifies the uncertainties as relative deviations from the input values of the ZSE. The input value is always 1, and its upward and downward deviations are fractions of 1. The uncertainty assessment of complex activity data and emission factors complies with the mode of calculation required by the 1999 and 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. The argumentation is mostly based on expert judgements given either by external sector sectors or by experts from Öko-Recherche. Where empirical studies are available, statistical standard methods could be used for uncertainty assessments. Uncertainty analysis is carried out in all the 37 application sectors of fluorinated greenhouse gases.

Inhalt

<i>Summary in English</i>	IV
<i>Inhalt</i>	VI
Teil I Emissionen fluorierter Treibhausgase 1995 bis 2004/2005	1
I. Die F-Gas-Emissionen von 1995 bis 2005.....	3
1. HFKW 1995-2005	4
2. FKW 1995-2005	8
3. SF ₆ 1995-2005	9
II. Nachweise für die Emissionsabschätzung 2004 und 2005.....	12
III. Tabellarische Emissionsabschätzung für 2004 und 2005 im Vergleich zu 1995 und 1998-2003.....	21
Teil II Unsicherheitsbestimmung bei F-Gasen im Emissionsinventar des ZSE	28
Unsicherheiten als Bestandteil der Berichtspflicht	30
I. Unsicherheiten bei Emissionen aus offener Anwendung	30
II. Unsicherheiten bei Emissionen mit einfachen Aktivitätsraten.....	30
III. Unsicherheiten bei Emissionen mit komplexen Aktivitätsraten.....	31
IV. Gleiche Unsicherheit von Neuzugang und Bestand im ZSE	32
V. Berechnung der Unsicherheit zusammengesetzter Aktivitätsraten	32
VI. Die Reihenfolge der Unsicherheitsbegründungen.....	33
Bemerkung zu den Quellen der Unsicherheitsbegründungen.....	34
Begründung der Unsicherheiten im ZSE nach Sektoren	35
I. Geschlossene Systeme mit zusammengesetzter Aktivitätsrate I.....	35
1. Wärmepumpen	36
2. Stationäre Klimaanlage.....	36
3. Raumklimageräte.....	38
4. Industriekälte	38
5. Gewerbekälte	38
6. Kühlcontainer	40
7. Kühlfahrzeuge	41
II. Geschlossene Systeme mit zusammengesetzter Aktivitätsrate II.....	44
8. Pkw-Klimaanlagen	45
9. Lkw-Klimaanlagen	46
10. Bus-Klimaanlagen	48
11. Landmaschinen-Klimaanlagen	49
12. Schiffs-Klimaanlagen	51
13. Schienenfahrzeug-Klimaanlagen.....	52
III. Geschlossene Systeme mit einfacher Aktivitätsrate	54
14. PU-Hartschaum (HFKW-134a, HFKW-245fa/-365mfc)	54
15. XPS-Dämmplatten mit HFKW-134a.....	56
16. Haushalts-Kühlgeräte mit HFKW-134a	57
17. Feuerlöschmittel in Anlagen (HFKW-227ea, -236fa, -23).....	57
18. Anlagen der elektrischen Energieübertragung und -verteilung mit SF ₆	58
19. Teilchenbeschleuniger (SF ₆).....	59
20. Schallschutzscheiben (SF ₆).....	60
IV. Halboffene Systeme	62
21. PU-Montageschaum (HFKW-134a/-152a).....	62
22. Dosieraerosole (HFKW-134a/-227ea).....	63
23. Allgemeine Aerosole (HFKW-134a/-152a).....	64
24. Novelty-Sprays (HFKW-134a/-152a).....	65

25. Autoreifen (SF ₆)	65
26. Sportschuh-Sohlen (SF ₆ /FKW-218)	66
<i>V. Offene Anwendungen</i>	67
27. XPS mit HFKW-152a.....	67
28. PU-Integralschaum (HFKW-134a/-245fa/-365mfc).....	67
29. Test des Feuerlöschmittels HFKW-236fa.....	68
30. Lösemittel (HFKW-43-10mee)	68
31. Tracer-Gas (SF ₆).....	68
32. Starkstrom-Kondensatoren (SF ₆).....	69
33. Magnesium-Guss (SF ₆ /HFKW-134a).....	69
34. Aluminium-Reinigung (SF ₆)	70
35. AWACS-Radar (SF ₆)	70
<i>VI. Produktion fluoriertes Gase</i>	71
<i>VII. Halbleiterindustrie und Leiterplattenfertigung</i>	72
36. Halbleiter	72
37. Leiterplattenreinigung	72
<i>Tabellen-Anhang</i>	73
<i>Anhang Bestandsunsicherheit nach unten bei Straßenfahrzeugen</i>	75
1. Kühlfahrzeuge	76
2. Lastkraftwagen	77
3. Pkw	78
4. Busse	79
<i>Studien von Öko-Recherche in Teil II Unsicherheitsbestimmung</i>	80

Teil I

Emissionen fluorierter Treibhausgase 1995 bis 2004/2005

Gliederung des ersten Teils

Im Jahre 2005 betragen die Gesamtemissionen von HFKW, FKW und SF₆ 15,2 Mio. t CO₂-Äquivalente; sie haben von 2003 bis 2005 um 1,5 Mio. t zugenommen. Dahinter verbergen sich unterschiedliche Tendenzen: FKW weisen eine ungebrochene Abwärtstendenz seit 1995 auf. Emissionen von SF₆, die bis 2002 abgenommen hatten, steigen seit 2003 wieder an. Die HFKW-Emissionen setzten ihren Anstieg seit 1995 weiter fort und machen nun fast zwei Drittel aller F-Gas-Emissionen aus. Von den ehemals großen Anwendungsgebieten von FCKW und HFCKW, nämlich Kälte-Klimatechnik, Hartschaum, Lösemittel, Feuerlöscher, Aerosole bilden aber nur die stationäre und mobile Kälte-Klimatechnik den Kernbereich der HFKW. Die Tendenz zu steigenden Einsatz- und Emissionsmengen bei stationärer Kälte und mobilem Klima, insbesondere Pkw-Klima, hielt auch 2004/05 an.

In Abschnitt I des ersten Teils dieses Berichts werden die F-Gas-Emissionsdaten für 2004 und 2005 sowie für 1995, 2000 und 2003 präsentiert und kommentiert. Die Zahlen sind für die internationalen Berichtspflichten der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen der UNFCCC ermittelt worden und wurden 2007 bereits vollständig in das Zentrale System Emissionen (ZSE) beim Umweltbundesamt eingegeben.

Abschnitt II des ersten Teils dokumentiert die Datenquellen für die in den Jahren 2005 und 2006 (Berichtsjahre 2004/2005) von Öko-Recherche durchgeführten Emissionserhebungen.

Abschnitt III enthält den tabellarischen Überblick über alle F-Gas-Emissionen der Jahre 1995 und 1998 bis 2005 – nach einzelnen Sektoren.

I. Die F-Gas-Emissionen von 1995 bis 2005

Die Gesamtemissionen der Gase HFKW, FKW und SF₆ haben sich von 1995 bis 2005 verdoppelt - von 3.234 t auf 6.425 t – mit leichtem Rückgang seit 2003. Anders als nach der metrischen Tonnage ist die Klimawirkung dieser Emissionen, über den gesamten Zeitraum betrachtet, leicht zurückgegangen, und zwar von 15,47 auf 15,19 Mio. t CO₂-Äquivalente. Die klimawirksamen Emissionen haben dagegen von 2003 bis 2005 um fast 1,5 Mio. t CO₂-Äquivalente zugenommen. Dahinter verbergen sich sehr unterschiedliche Tendenzen, die den Blick auf einzelne Gasgruppen erfordern.

Tab. 1 Entwicklung der Emissionen fluorierter Treibhausgase [t] 1995-2005					
	1995	2000	2003	2004	2005
HFKW	2675	4063	6537	6281	6121
FKW	256	110	121	117	101
SF ₆	303	213	183	191	204
Insgesamt	3234	4385	6841	6589	6425

Tab. 2 Entwicklung der Emissionen fluorierter Treibhausgase [Mio. t CO₂-Äquivalente] 1995-2005					
	1995	2000	2003	2004	2005
HFKW	6,482	6,490	8,441	8,879	9,600
FKW	1,750	0,786	0,858	0,830	0,718
SF ₆	7,237	5,086	4,377	4,571	4,868
Insgesamt	15,469	12,362	13,675	14,281	15,186

Tabelle 1 und 2 zeigen, dass sich die Emissionen fluorierter Treibhausgase von 1990/1995¹ bis 2005 in den drei Stoffgruppen unterschiedlich entwickelt haben.

FKW weisen eine kontinuierliche Abwärtstendenz über den gesamten Zeitraum auf. Emissionen von SF₆ haben gegenüber 1995 zwar deutlich abgenommen. Seit 2003 steigen sie jedoch wieder an. Die HFKW-Gesamtemissionen sind der Masse nach zwischen 1995 und 2005 von 2670 t auf 6121 t gestiegen. Ihre Klimawirkung (ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten) hat jedoch seit 1995 viel moderater zugenommen - von 6,5 auf 9,6 Mio. t CO₂-Äquivalente. Zwar stiegen seit dem FCKW-Verbot für neue Anlagen die Emissionen von HFKW, die gezielt als FCKW-Ersatzstoffe eingesetzt werden, kräftig an - von 2,3 auf 9,1 Mio. t CO₂-Äquivalente. Gleichzeitig gelang es der Chemischen Industrie aber, die unbeabsichtigten Emissionen des stark treibhauswirksamen HFKW-23 aus der Synthese von HFCKW-22 deutlich zu senken. Diese wurden zwischen 1995 und 2003 von 4 Mio. t CO₂-Äquivalente auf unter 0,5 Mio. t reduziert, was den Gesamtanstieg klimawirksamer HFKW-Emissionen verlangsamte. Allerdings gelang es nicht, das Niveau der HFKW-23-Emissionen in den Jahren 2004 und 2005 weiter zu vermindern.

¹ Im Jahr 1990 gab es noch keine gezielte Herstellung/keinen gezielten Einsatz von HFKW. Dem Jahr 1990 zuzuordnende Emissionen resultierten aus dem HFCKW-22-Herstellungsprozess, wo HFKW-23 als Nebenprodukt entsteht, sowie aus Anwendung des HFKW-23 zur Herstellung von Halbleitern. Die F-Gas-Emissionen sind hier daher erst ab 1995 angegeben. Zu den Emissionen von 1990 bis 1994 siehe den UBA-Forschungsbericht 205 41 106 (Abschluss 31.1.2007).

1. HFKW 1995-2005

Einleitung

Grundsätzlich sind HFKW Ersatzstoffe für ozonschicht-schädigende Substanzen (ODS), welche in Deutschland seit 1995 (FCKW und Halone) bzw. 2000/2004 (HFCKW) für den Neueinsatz verboten sind. HFKW, die nicht zum Ozonabbau, wohl aber zur Klimaerwärmung beitragen, wurden von der Chemischen Industrie als Nachfolgestoffe für ODS konzipiert, und werden von ihr hergestellt.

In der Rückschau auf zehn Jahre seit dem FCKW-Verbot lässt sich feststellen: Von den ehemals großen ODS-Anwendungsgebieten, nämlich Kälte-Klimatechnik, Hartschaum, Lösemittel, Feuerlöscher und – zeitlich noch davor – Aerosole, bilden stationäre und mobile Kälte-Klimatechnik den Bereich, wo der Übergang von ODS zu HFKW relativ reibungslos vonstatten ging bzw. noch erfolgt. (Eine Ausnahme ist der 1994 durchgeführte FCKW-Umstieg auf natürliche Kältemittel bei Haushalts-Kühlgeräten.) In allen anderen ODS-Sektoren haben sich weniger klimaschädigende Alternativen so weit durchgesetzt, dass HFKW nur eine untergeordnete Rolle spielen. Die Tendenz zu steigenden Einsatz- und Emissionsmengen bei Kälte-Klima und zu Stagnation bis Abnahme in den übrigen Sektoren hielt auch 2004/05 an.

Tab. 3 Entwicklung der HFKW-Emissionen [t] 1995-2005

	1995	2000	2003	2004	2005
Stationäre Kälte/Klima	67	852	1353	1586	1855
Mobile Kälte/Klima	166	1160	1899	2140	2424
- davon nur Pkw	133	988	1616	1822	2067
XPS-Schäume	0	0	1709	1521	1036
PU-Schäume	0	94	126	241	177
PU-Montageschaum	1823	1475	894	269	93
Dosieraerosole	0	84	205	191	202
Andere Aerosole/Lösemittel	254	269	274	254	253
Feuerlöschmittel	0	0,6	1,5	3,6	2,1
HFKW - Ersatz für FCKW	2309	3934	6462	6207	6042
Produktion/Habl./Mg-134a	366	129	75	74	79
Insgesamt	2675	4063	6537	6281	6121

Tab. 4 Entwicklung der HFKW-Emissionen [Mio. t CO₂-Äquivalente] 1995-2005

	1995	2000	2003	2004	2005
Stationäre Kälte/Klima	0,169	1,994	3,231	3,785	4,392
Mobile Kälte/Klima	0,230	1,560	2,555	2,872	3,247
- davon nur Pkw	0,172	1,284	2,101	2,369	2,686
XPS-Schäume	0	0	0,698	0,658	0,554
PU-Schäume	0	0,123	0,158	0,252	0,192
PU-Montageschaum	1,534	1,084	0,587	0,162	0,056
Dosieraerosole	0	0,168	0,318	0,294	0,305
Andere Aerosole/Lösemittel	0,318	0,336	0,339	0,314	0,314
Feuerlöschmittel	0,012	0,002	0,006	0,012	0,007
HFKW - Ersatz für FCKW	2,251	5,266	7,892	8,351	9,067
Produktion/Habl./Mg-134a	4,231	1,224	0,549	0,529	0,533
Insgesamt	6,482	6,490	8,441	8,879	9,600

1. Stationäre Kälte-Klimatechnik

Der Anstieg der Emissionen betrifft, wie Tabelle 3 und 4 zeigen, vor allem die Sektoren mit Kältemittel-Anwendung, nämlich stationäre und mobile Kälte- und Klimatechnik. In der stationären Anwendung sind die HFKW-Emissionen dabei, diejenigen der ehemaligen FCKW/HFCKW der Masse nach einzuholen. In der mobilen Anwendung haben sie quantitativ ihre ODS-Vorläufer schon lange überholt. Bei stationären Klimaanlageanlagen erfolgte 2005 ein vollständiger Ersatz von R134a durch R410A in Neuanlagen.

In den drei großen Untersektoren der stationären Kälte-Klimatechnik, nämlich Gewerbekälte, Industriekälte sowie Gebäude- und Raumklimatisierung (einschl. Wärmepumpen) ist der FCKW-Ausstieg abgeschlossen. Gegenwärtig befinden wir uns in der Phase des Ausstiegs aus dem HFCKW-22 (R-22), der hier traditionell eine große Rolle spielt. Der HFKW-Bestand und damit die Bestandsemissionen haben zwischen 2003 und 2005 um 500 metrische Tonnen (1,15 Mio. t CO₂-Äquivalente) zugenommen. Bis 2010, dem endgültigen Verwendungsverbot von neu produziertem R-22, dürften sie noch um mindestens 10 bis 20% weiter wachsen, bevor Sättigung in der Gewerbe- und Industriekälte eintritt. Bei stationären Klimaanlageanlagen dürfte der HFKW-Einsatz noch einige Jahre länger wachsen, weil die Zahl der installierten Anlagen weiter zunimmt. Noch stärker wachsen werden in den kommenden Jahren die HFKW-Emissionen bei Außerbetriebnahme von Anlagen, die in den 90er Jahren in Dienst genommen wurden. Diese Entsorgungsemissionen werden nicht empirisch ermittelt, sondern mit Hilfe eines Emissionsfaktors abgeschätzt. Dieser beträgt zurzeit pauschal 30%, d.h. es wird ein Verlust von 30% der ursprünglichen Füllmenge am Lebensende der Anlagen angenommen². Der tatsächliche Verlauf sowohl von Bestands- als auch Entsorgungsemissionen hängt allerdings davon ab, wie wirksam die neue F-Gase-Verordnung der EU in Deutschland umgesetzt wird

2. Mobile Klima- und Kältetechnik

Die Emissionen von HFKW aus dem Sektor der mobilen Klima- und Kältetechnik sind zu über 80% durch Pkw-Klimaanlagen bestimmt. Hier ist bei den jährlichen Neuzulassungen (identisch mit jährlicher Erhöhung des Kältemittelbestands) mittlerweile fast Sättigung zu verzeichnen. Die Ausrüstungsquote mit Klimaanlageanlagen (Klimaquote) des Jahres 2005 betrug bereits 94% (96% bei deutschen, 91% bei ausländischen Marken). Es wird aber noch bis nach 2013 dauern, bis auch der gesamte Pkw-Bestand dieses Niveau erreicht hat. Die Bestandsemissionen werden dann um etwa 60% höher als in 2005 sein. Zugleich verfünffachen sich die Entsorgungsemissionen von 100 t (2005) auf über 600 t (2013). Hier ist anzumerken, dass diese Emissionen für alle Fahrzeuge berechnen, die seit 1992 in Deutschland neu zugelassen wurden, auch wenn die Verschrottung im Ausland stattfindet, was aufgrund des hohen Gebrauchtwagenexports nicht wenig ist.

² Der rechnerische Entsorgungs-Emissionsfaktor für außer Betrieb gehende Kälte-Klimaanlagen wurde im ZSE im Jahr 2005 von 25% auf 30% erhöht und entspricht damit dem Standard-Wert in den IPCC Guidelines von 1999. Die vorher angewandten "länderspezifischen" 25% wurden damit begründet, dass die Rückgewinnung am Lebensende in Deutschland höher als im internationalen Durchschnitt liegt. Dafür gibt es allerdings keinen empirischen Beleg. Methodologisch scheint daher ein nationaler Entsorgungs-Emissionsfaktor unter dem internationalen Niveau vorerst nicht gerechtfertigt. (W. Schwarz: 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. Studie für das Umweltbundesamt 2005, S. 47.)

Für den Emissionsverlauf nach 2013 bzw. nach 2011/2017 wird die EU-Richtlinie über den Ausstieg von HFKW-134a aus Autoklimaanlagen bestimmend. Spätestens nach 2017 dürfen neue Pkw nicht mehr mit R-134a klimatisiert werden. Ob es zu einer quasi klimaneutralen Lösung durch das Kältemittel CO₂ kommen wird oder zu einem Kältemittel mit GWP unter 150 (HFKW-134a hat das GWP 1300), ist gegenwärtig (2007) noch nicht entschieden. Auf jeden Fall werden erst langfristig, d. h. nach 2020, die klimawirksamen Emissionen aus Pkw-Klimaanlagen deutlich sinken.

Bei anderen mobilen Klimaanlagen (Busse, Lkw, Landmaschinen, Schiffe, Schienenfahrzeuge) ist es ähnlich wie bei Pkw – mit der Ausnahme, dass ein mittelfristiger Ausstieg aus HFKW-134a gesetzlich bisher nicht vorgesehen ist. Bei Neuzulassungen hat die Klimaquote ebenfalls weitgehend Sättigung erreicht. Bis auch HFKW-Bestand und HFKW-Bestandsemissionen so weit sind, werden noch bis zu zehn Jahre Emissionswachstum vergehen, sofern sich die politischen Randbedingungen nicht ändern. Zu Bestandsemissionen kommen zunehmend Emissionen bei Außerbetriebnahme der Fahrzeuge hinzu.

Die Lage bei mobilen Kälteanlagen (Kühlfahrzeuge) ist derjenigen bei stationären Systemen ähnlicher als der bei mobilem Klima – allein schon wegen der Vielfalt der verwendeten HFKW-Typen. Auch hier wird gegenwärtig immer noch R-22 abgelöst, so dass der HFKW-Bestand noch bis über 2010 hinaus zunehmen dürfte. Wir nehmen mittelfristig eine Wachstumsrate von jährlich 1% an, allerdings nur für große Fahrzeuge (> 22 t zul. GG), während bei kleineren Fahrzeugen das Maximum erreicht sein dürfte.

3. Hartschaum (XPS, PU, Montageschaum)

Gegenüber 1995 haben die klimawirksamen HFKW-Emissionen aus der Schäumung von XPS und PU zugenommen, allerdings ausgehend von damals Null. Seit 2004 ist bei XPS und seit 2005 auch bei PU wieder ein leichter Rückgang zu verzeichnen – metrisch und in CO₂-Äquivalenten. Bereits das HFKW-Einstiegsniveau war bei PU-Hartschaum nicht sehr hoch. Nur in wenigen Bereichen sind die Anwender nach den sukzessiven Verboten von FCKW und HFCKW noch bei halogenierten Treibmitteln geblieben, um die neuen HFKW-365mfc oder -245fa einzusetzen. Ob der Rückgang von 2005 gegenüber 2004 dauerhaft ist, weil er auf weiterem Ersatz von HFKW durch natürliche Treibmittel beruht, kann gegenwärtig noch nicht beurteilt werden. Bei XPS nehmen wir eine weiterhin langsame, aber stetige Emissionsminderung infolge Substitution auch für die Zukunft an.

Wegen Vertraulichkeitszusagen gegenüber den HFKW-Herstellern werden HFKW-365mfc und HFKW-245fa mengenmäßig zusammen berichtet (ihre GWP sind untereinander sehr ähnlich). Aus dem gleichen Grund wird der HFKW-227ea nicht gesondert ausgewiesen, weil er – in relativ geringen Mengen – nur einem der beiden HFKW-Typen (365mfc) zugegeben wird, um die Brennbarkeit weiter herabzusetzen.

Stark vermindert gegenüber 1995 haben sich die Emissionen aus der Anwendung von PU-Montageschaum. Bereits 2003 betragen sie nur noch die Hälfte des ursprünglichen Niveaus von 1995, ihr Rückgang beschleunigte sich 2004 und 2005 auf noch lediglich 5% der 1995er Ausgangsmenge. Aus der ehemals größten HFKW-

Emissionsquelle ist nur noch eine relativ kleine geworden. Als offene Anwendung war PU-Montageschaum Ende der 90er Jahre unter politische Kritik geraten; die EU F-Gase-Verordnung (Verordnung [EG] Nr. 842/2006) sieht ihr Verbot – bis auf sicherheitstechnisch notwendige Restmengen – vor. Die Einbrüche von 2004 und 2005 nehmen das Verbot vorweg. Brennbare Treibmittel, die noch vor 10 Jahren als zu gefährlich galten, bestimmen schon zu über 95% den inländischen Markt.

4. Dosieraerosole, andere Aerosole und Lösemittel

Mit "anderen" Aerosolen sind sowohl technische Sprays als auch sog. "Novelties" gemeint. Letztere umfassen Dekorationssprays und reine Spaßprodukte. Die Emissionen aus diesen Quellen waren bereits 1995 niedrig – gemessen an den historischen Mengen Ende der siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts. Das Ausgangsniveau wurde bis 2005 allerdings nicht weiter gesenkt. Das dürfte durch die EU F-Gase-Verordnung nun anders werden, da sie die Anwendung von HFKW für Novelties verbietet.

Bei medizinischen Dosieraerosolen wurde der FCKW-Ausstieg erst dreißig Jahre später (1997) begonnen und 2003 abgeschlossen. Das erklärt den Anstieg der HFKW-Emissionen gegenüber 1995. Alternative Applikationssysteme wie Pulverinhalatoren haben ihn jedoch in Grenzen gehalten. Mittelfristig ist Konstanz der Emissionen wahrscheinlich.

HFKW-Lösemittel sind von marginaler Bedeutung, weil die Gesetzgebung gegenüber chlorierten und fluorchlorierten Vorläufersubstanzen bereits vor der HFKW-Markteinführung zu einer breiten Palette brauchbarer Alternativen geführt hatte.

5. Feuerlöschmittel

Auch bei Feuerlöschmitteln, ehemals der große Bereich für Halone, spielen halogenierte Substanzen wie HFKW-227ea und -236fa nur noch eine untergeordnete Rolle. Gleichwohl ist hier für 2005 auf einen ökologischen Rückschritt zu verweisen, nämlich auf die erstmals erfolgte Anwendung des HFKW-23 (GWP: 11.700) als Löschmittel in Deutschland. Diese dem Umweltbundesamt unerwünschte Applikation wird in Zukunft kritisch beobachtet werden.

6. Produktion, Halbleiter

HFKW-Emissionen aus der chemischen Herstellung von HFCKW und HFKW sowie aus der HFKW-Anwendung im Halbleitersektor sind seit 2003 konstant geblieben. Für absehbare Zukunft ist hier nicht mit wesentlichen Änderungen zu rechnen.

Dagegen ist ein Emissionszuwachs von HFKW-134a aus der Herstellung von Magnesiumguss so gut wie sicher. Dieser - moderate - Anstieg ist jedoch umweltpolitisch gewollt und durch die EU F-Gase Verordnung bedingt. Denn HFKW-134a ist ein Ersatzstoff für SF₆ als Schutzgas über der Magnesiumschmelze, dessen GWP nur 5% desjenigen von SF₆ beträgt (1.300 zu 23.900).

2. FKW 1995-2005

Die Emissionen von FKW (PFC) nehmen seit 1995 dank der Anstrengungen der Industrie kontinuierlich ab – in der metrischen Tonnage wie in der Klimawirkung. Die Tabellen 5 und 6 zeigen: Insgesamt liegen die FKW-Emissionen 2005 deutlich unter der Hälfte des Jahres 1995. Sie sind von 256 auf 101 t gesunken, bzw. von 1,75 auf 0,72 Mio. t CO₂-Äquivalente.

Tab. 5 Entwicklung der FKW-Emissionen [t] 1995-2005					
	1995	2000	2003	2004	2005
Aluminiumproduktion	230	53	70	66	50
Halbleiterherstellung	23	43	34	33	31
Leiterplattenfertigung	2	2	2	2	2
Kältemittel	1,2	11,6	14,9	15,9	17,8
Insgesamt	256	110	121	117	101

Tab. 6 Entwicklung der FKW-Emissionen [Mio. t CO₂-Äquivalente] 1995-2005					
	1995	2000	2003	2004	2005
Aluminiumproduktion	1,552	0,356	0,475	0,446	0,338
Halbleiterherstellung	0,177	0,333	0,260	0,254	0,236
Leiterplattenfertigung	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
Kältetechnik	0,008	0,084	0,110	0,118	0,132
Insgesamt	1,750	0,786	0,858	0,830	0,718

1. Aluminium und Halbleiter

Sowohl die Hersteller von Primäraluminium als auch die Halbleiterhersteller haben Selbstverpflichtungen abgeschlossen, die nicht nur jährliches Monitoring der Emissionen, sondern auch deren Senkung unter das Ausgangsjahr vorsehen. Während die Aluminiumindustrie, begünstigt durch Struktureffekte, ihre Emissionen seit 1995 kontinuierlich vermindert hat und die Reduzierung auch 2004 und 2005 fortsetzen konnte, sind die Halbleiterhersteller noch in der Pflicht. Immerhin gelangen ihnen 2004 und 2005 erstmals zwei aufeinander folgende jährliche Senkungen der Emissionen.

2. Kältemittel

Emissionen von FKW-Kältemitteln stammen aus Altanlagen der Gewerbekälte, die im Zuge des R-12-Ersatzes in bestehenden Anlagen in den 90er Jahren mit so genannten Service-Kältemitteln befüllt wurden. Letztere enthielten als chlorfreie Komponente häufig FKW-218. Mit der Außerbetriebnahme der ehemaligen FCKW-Anlagen gehen auch diese FKW-Emissionen zu Ende – spätestens 2012.

In bestimmten Sportschuhen wird seit 2004 der FKW-218 anstelle von SF₆ eingesetzt. Die ersten Emissionen aus dieser Anwendung treten 2007 auf, da eine Nutzungsdauer von drei Jahren angenommen wird.

3. SF₆ 1995-2005

SF₆-Emissionen sind im Zeitraum 1995-2005 von 303 auf 204 t gesunken, was in CO₂-Äquivalenten einen Rückgang von 7,2 auf 4,9 Mio. t ausmacht. Bei näherer Betrachtung der Tabellen 7 und 8 zeigt sich aber, dass sowohl 2004 als auch 2005 die Emissionen gegenüber dem Vorjahr wieder zugenommen haben.

Tab. 7 Entwicklung der SF₆-Emissionen [t] 1995-2005					
	1995	2000	2003	2004	2005
Autoreifen	110	50	6	4	2,7
Schallschutzscheiben	107,9	51,7	48,3	53,8	56,5
Elektr. Schaltanlagen	27,3	16,9	14,2	16,3	15,0
T&D Bauteile	16,7	26,6	18,4	16,0	12,0
Teilchenbeschleuniger	4,5	5,0	4,9	4,9	4,9
Magnesiumguss	7,8	13,4	19,2	24,9	27,9
Spurengas/Alu-Guss	1,0	14,5	45,5	46,1	57,5
Sohlen/Radar/Glasfasern u. a.	18,5	23,3	14,0	11,9	14,0
Sonstiges einschl. Halbl.	9,0	11,4	12,6	13,4	13,1
Insgesamt	303	213	183	191	204

Tab. 8 Entwicklung der SF₆-Emissionen [Mio. t CO₂-Äquivalente] 1995-2005					
	1995	2000	2003	2004	2005
Autoreifen	2,629	1,195	0,143	0,96	0,065
Schallschutzscheiben	2,578	1,236	1,155	1,287	1,350
Elektr. Schaltanlagen	0,654	0,403	0,340	0,398	0,359
T&D Bauteile	0,400	0,636	0,440	0,383	0,287
Teilchenbeschleuniger	0,108	0,120	0,117	0,117	0,117
Magnesiumguss	0,188	0,320	0,458	0,594	0,668
Alu-Guss/Spurengas	0,024	0,347	1,087	1,102	1,374
Sohlen/Radar/Glasfasern u. a.	0,442	0,557	0,335	0,284	0,336
Sonstiges einschl. Halbl.	0,216	0,271	0,301	0,319	0,314
Insgesamt	7,237	5,086	4,377	4,571	4,868

1. Autoreifen

Der Gesamt-Rückgang geht in erster Linie auf die schon Mitte der 90er Jahre im Ausland auf allgemeines Erstaunen stoßende Anwendung in Autoreifen zurück. Hier hat eine erfolgreiche Umweltaufklärung eine Emissionssenkung um über 100 t bewirkt und den Treibhausbeitrag um über 2,5 Mio. t CO₂-Äquivalente gesenkt. Auch 2004 und 2005 ging die Reduktion weiter. Das Verbot durch die EU F-Gase Verordnung beseitigt Emissionen von mittlerweile immerhin noch 2,7 t.

2. Schallschutzscheiben

Vergleichbares gilt nicht für die ebenfalls dem SF₆-Verbot unterliegenden Schallschutzscheiben, obwohl hier der jährliche Neuverbrauch von SF₆ (in den Tabellen nicht ausgewiesen) im Jahr 2005 gegenüber 1995 nur noch 6% (17 t zu 275 t) betrug. Die heutigen und künftigen Emissionen stammen vorwiegend aus der

offenen Entsorgung alter Scheiben. Das ist die Ursache des Anstiegs der Emissionen 2004 und 2005. Sie werden noch bis 2020 zunehmen, und zwar bis auf etwa 140 t im Jahr. Das entspricht 70% der SF₆-Emissionen des Jahres 2005 aus allen Anwendungen zusammen.

3. Elektrische Anlagen der Energieübertragung und -verteilung

Weltweit ist die SF₆-Anwendung Schaltgeräte und Schaltanlagen bei weitem die größte, und auch in Deutschland ist das der Sektor mit dem größten SF₆-Verbrauch. Die große Mehrheit der Anlagen wird allerdings exportiert. Emissionen entstehen bei der Herstellung, im Betrieb und bei Außerbetriebnahme. Trotz des Anstiegs von Neuverbrauch und Bestand gehen die Emissionen seit 1995 zurück, und zwar von über 27 t in 1995 bis auf 15 t in 2005. Der leichte Anstieg 2004 gegenüber 2003 wurde im Folgejahr durch gleich großen Rückgang wieder kompensiert. Das Ziel der Hersteller und Betreiber aus der aktualisierten Selbstverpflichtung von 2005, nämlich bis 2020 die Gesamtemissionen auf jährlich 17 t zu begrenzen, ist daher realistisch – auch bei zu erwartender Steigerung der Produktion.

4. Produktion elektrischer Bauteile für die Energieübertragung (T&D Bauteile)

Hier handelt es sich um Zu- und Anbauten für Schaltanlagen wie Messwandler und Durchführungen, aber auch um Kondensatoren für Umrichter. Diese Bauteile wurden früher zusammen mit den Schaltanlagen ("elektrische Betriebsmittel") berichtet, werden aber von jetzt an davon getrennt ausgewiesen, um den Stand der im vorigen Abschnitt genannte Selbstverpflichtung, die sich nur auf Schaltanlagen im engeren Sinn bezieht, sichtbar zu machen. Im Jahr 2000 betrug die Emissionen bei der Herstellung dieser Bauteile fast 27 t und damit mehr als aus Schaltanlagen selbst. Die Industrie hat durch Wiederverwendung und Kreislaufführung des Gases den Verbrauch pro Produkt erheblich verringert, so dass im Jahr 2005 nur noch 12 t emittierten. Eine weitere Absenkung von Verbrauch und Emission ist möglich.

Im Zuge der Selbstverpflichtung haben die Hersteller und Betreiber die Emissionswerte der vergangenen Jahre erneut überprüft. Daraus resultieren auch für das Basisjahr 1995 geringfügige Änderungen.

5. Teilchenbeschleuniger

In früheren Berichten wurden Teilchenbeschleuniger mit Starkstrom-Kondensatoren zusammengefasst, die jetzt aber unter Bauteilen enthalten sind. Die jährlichen Emissionen aus Teilchenbeschleunigern bewegen sich seit vielen Jahren relativ konstant zwischen 4 und 5 t, was sich auch mittelfristig fortsetzen dürfte. Große Neubauten sind mittelfristig genau so wenig geplant wie große Außerbetriebnahmen. Zuwachs bei Bestand und Emissionen erfolgt durch medizinische Geräte der Radiotherapie, deren Füllmengen mit durchschnittlich 0,5 kg allerdings klein sind.

6. Magnesiumguss

Obwohl die EU F-Gase-Verordnung ab 2008 das Verbot von SF₆ in Gießereien mit mehr als 850 kg Jahresverbrauch vorsieht, ist der inländische Verbrauch, der bisher mit den Emissionen gleich gesetzt wird, auch 2004 und 2005 weiter angestiegen. Hinter dem Zuwachs verbergen sich allerdings unterschiedliche Tendenzen. Der jährliche Zuwachs geht nämlich auf eine einzige Großgießerei zurück, die ihren SF₆-Einsatz ungebrochen erhöht hat. Alle anderen Gießereien über 850 kg Jahresverbrauch sind in der Test- und Umstellungsphase auf das Schutzgas HFKW-134a. Zwei haben die Umstellung auf HFKW-134a oder SO₂ bereits erfolgreich abgeschlossen.

7. Aluminiumguss und Spurengas

Seit 1998 werden zur Produktion von Sekundär-Aluminium wieder große SF₆-Mengen eingesetzt, obwohl SF₆ aus dieser Anwendung bereits verschwunden war. Die Einsatzmenge, die zurzeit der Emissionsmenge gleichgesetzt wird (die Überprüfung einer ev. Zersetzung des Gases steht bevor), ist auch 2004 und 2005 weiter gestiegen – auf mittlerweile 57 t bzw. 1,3 Mio. t CO₂-Äquivalente. Die Anwendung Aluminiumguss hat damit 2005 erstmals die Schallschutzscheiben als größte einzelne SF₆-Emissionsquelle überholt. In keinem anderen Land sind so hohe Emissionen aus dieser Anwendung bekannt wie in Deutschland. Bisher haben die inländischen Anwender noch kein Konzept für den Ausstieg aus dieser offenen SF₆-Anwendung, die nicht als zeitgemäß betrachtet werden kann. Da gegenwärtig noch unbewiesen ist, dass sich das Gas in der Anwendung weitgehend zersetzt, setzen wir (und das ZSE) bis auf weiteres Verbrauch vollständig mit Emissionen gleich.

Die Emissionen von Spurengas sind relativ gering und stabil. Sie bewegen sich seit vielen Jahren im Bereich von 0,5 t.

8. Sportschuhsohlen, AWACS-Radar, Glasfasern, Schweißen, Solartechnik

In dieser Restgruppe werden die bisher bekannten sonstigen SF₆-Anwendungen außer der Halbleiterherstellung zusammengefasst. Gegenwärtig sind es fünf. Die Gesamtemissionen sind gegenüber dem Jahre 2000 zurückgegangen. Dies liegt an dem Rückgang der SF₆-Freisetzung aus entsorgten Sportschuhen. Der verantwortliche Sportartikelhersteller setzt in neuen Schuhen seit 2004 kein SF₆ mehr ein. Die meisten Emissionen stammen seitdem aus dem militärischen Flugzeugradar, aus der Nutzung von SF₆ als Schutzgas für Schweißarbeiten und aus der Herstellung optischer Glasfaserkabel (Fluordotierung). In der Solartechnik (Photovoltaik) wird in steigendem Maß SF₆ als Prozessgas bei der Waferherstellung eingesetzt, wo weiter wachsende Anwendungsmengen erwartet werden.

9. Sonstiges einschl. Halbleiterindustrie

Die zwei größten Posten in dieser Restgruppe sind Emissionen aus der chemischen Herstellung von SF₆ und die Anwendung von SF₆ in der Halbleiterindustrie. Mittelfristig kann hier ein leichter Emissionsrückgang unterstellt werden.

II. Nachweise für die Emissionsabschätzung 2004 und 2005

In diesem Teil des Berichts werden die Erhebungsnachweise für die Berichtsjahre 2004 und 2005 wiedergegeben. Persönliche Telefon-Durchwahlnummern und E-Mail-Adressen, die in der dem Umweltbundesamt übergebenen Fassung als Tätigkeits- und Kontrollbelege enthalten sind, wurden in dieser für die Öffentlichkeit bestimmten Fassung getilgt.

Die Gliederung der Datenquellen erfolgt nach den drei Stoffgruppen HFKW, SF₆ und FKW. Damit die Gliederung mit derjenigen nach CRF-Quellgruppen vergleichbar ist, ist deren Bezeichnung in Klammer hinter den Überschriften der einzelnen Sektoren angegeben.

Kälte- und Klimaanlage (2.F.1)

Kühlfahrzeuge (2.F.1)

Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen, Reihe 3: Kraftfahrzeuge, Neuzulassungen – Besitzumschreibungen - Löschungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern, Jahresband 2004, Übersichten 19 und 32. Erscheint erst zum Jahresende des Folgejahres. Vorveröffentlichung im September: VDA (Verband der Automobilindustrie), Tatsachen und Zahlen, 69. Folge 2005, Frankfurt am Main. Darin: Zulassungen von fabrikneuen Kraftomnibussen, Lastkraftwagen, Zugmaschinen, übrigen Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach dem zulässigen Gesamtgewicht im Jahr 2004 in Deutschland.

VDA Verband der Automobilindustrie, Frankfurt, Statistische Abteilung (Petra Müller), Mitteilung vom 23.08.06.

Kühlcontainer (2.F.1)

Another big year for reefer manufacturers. Reefer container output reached an all-time high last year and is on track for another record in 2005. June 2005,

<http://www.worldcargonews.com/htm/nf20050725.535232.htm>

Reefer lessors lose ground. January 2006,

<http://www.worldcargonews.com/htm/nf20060227.885952.htm>

Wärmepumpen (2.F.1)

Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V., München, 0 89/2 71 30 21, Vorteile setzten sich durch: Wärmepumpen mit rd. 30 Prozent Zuwachsrate für das Jahr 2004. Pressemeldung vom 30.03. 05. <http://www.waermepumpe-bwp.de/content/absatz04.jpg>.

Der Markt blüht auf. Wärmepumpenabsatz 2005. Pressemeldung vom 30.03. 06.

Haushaltskühlgeräte (2.F.1)

Greenpeace Deutschland, Hamburg, 040-30618-0.

Wolfgang Lohbeck (Leiter Atmosphärenschtz), pers. Mitt. lfd.

Zentrale Klimaanlage (2.F.1)

Kältemittelmodell siehe: Winfried Schwarz: Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002. Anpassung an die Anforderungen der internationalen Berichterstattung und Implementierung der Daten in das zentrale System Emissionen (ZSE), für das Umweltbundesamt, Dessau, Juni 2005, <http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2902.pdf>. UBA-Text 14/05.

IKK 2005, Hannover, 02.11. 05, Fachgespräche mit Herstellern und Importeuren über die Marktentwicklung 2004, u.a. mit:
Achim Zeller (Senior Executive – New Business Section) Daikin Europe, 0032-2-529-6106;
Christian Voß (Product Manager Deutschland) von Stulz GmbH Klimatechnik, Hamburg 040-5585-0.
Joern Kressner, Polenz GmbH, Norderstedt, 040 52140-0, Mitteilung 21.06.06.

Raumklimageräte (2.F.1)

Daikin Europe Brussels Office, 0032-2-529-6106.
Achim Zeller (Senior Executive – New Business Section) 23.09.05.
Polenz GmbH, Norderstedt, 040 52140-0 (Peter Hinrichsen), Mitteilung 21.06.06.
Polenz GmbH, Technisches Büro Frankfurt (Werner Unkel), Mitteilung 21.06.06.

Industriekälte und Gewerbekälte (2.F.1)

Kältemittel-Hersteller. Befragung zu Verkaufsmengen in der stationären Kälte- und Klimatechnik, auf der IKK 2005 am 02.11. 05 in Hannover und der IKK 2006 am 18.10.2006 in Nürnberg:
Karsten Schwennesen (Ineos Fluor International Ltd., Frankfurt), Joachim Gerstel (Du Pont Deutschland GmbH, Bad Homburg), Klaus Pesler (Arkema GmbH, Düsseldorf), Christoph Meurer, Felix Flohr und Carsten Frank (alle drei von Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover).
Andrea Voigt (früher Rhodia), AMV Communication, Pourrain (Frankreich), 05.10.05.
Kältemittelmodell siehe: Winfried Schwarz: Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002. Anpassung an die Anforderungen der internationalen Berichterstattung und Implementierung der Daten in das zentrale System Emissionen (ZSE), für das Umweltbundesamt, Dessau, Juni 2005, <http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2902.pdf>. UBA-Text 14/05.

Im Zuge der Gespräche ergaben sich für die aus dem Kältemittel-Modell abgeleiteten Inländischen Verbräuche für 134a, 404A und 407C sehr hohe Übereinstimmungen mit den Marktschätzungen der vier führenden Kältemittel-Hersteller in Europa/Deutschland. Lediglich bei 407C gab es signifikante Differenzen: Drei der vier Hersteller schätzten die – durch das ZSE berechneten - 400 t/a Verbrauch (für die Hersteller Inlandsabsatz) als zu niedrig ein. Es wurden 500, in einem Fall sogar 600 t für richtiger gehalten. Als Haupteinsatzgebiet gelten zentrale stationäre Klimaanlage, die im Kältemittelmodell 260 t Verbrauch bilden. Es wird vorgeschlagen, durch eine weitere Befragung der größten Klimaanlagebauer in der oberen Leistungskategorie (Carrier, Trane, York) die 407C-Menge genauer zu untersuchen und gegebenenfalls in die Rekalkulation für das nächste Berichtsjahr einzubeziehen.

Darüber hinaus gaben die Gespräche Anlass zur Vermutung, dass die Einsatzmengen der Tieftemperaturkältemittel HFKW-23, FKW-116 und der Mischung aus beiden, nämlich R-508B, möglicherweise zu hoch angesetzt sind.

Pkw-Klimaanlagen (2.F.1)

VDA (Verband der Automobilindustrie), Frankfurt, Analysen zur Automobilkonjunktur 2004, Jahrespressekonferenz am 27. Januar 2005 (Tabellenteil); Analysen zur Automobilkonjunktur 2005, Januar 2006.
Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen, Reihe 3 Fahrzeugzulassungen, Sonderheft 1, Jahr 2004: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Herstellern und Typen. Statistische Mitteilungen, Reihe 1 Fahrzeugzulassungen, Neuzulassungen – Besitzumschreibungen – Löschungen – Bestand, Dezember 2005.

Adam Opel AG, Rüsselsheim, 06142-77-0. Manfred Daun (Dorit Hein) (Produkt-Kommunikation), 03.06.05; 28.06.06.

AUDI AG, Ingolstadt, 0841-89-0. Thomas Much (Absatzplanung – Einbauratenplanung) 10.06.05.

BMW Group, München, 089-382-0. Albrecht Jungk (Verkehr und Umwelt), 10.06.05; 28.06.06.

Chrysler Deutschland c/o Spring BRT/BRU/105756/DE. Anja Gintars (DaimlerChrysler Vertriebsorganisation Deutschland) talkto@daimlerchrysler.com, 24.05.05.

Citroen Deutschland AG, Köln, 02203-44-0. Heike Schäfer (Produktionsadministration), 07.07.05; Jörg Aßmann 10.07.06.

Daihatsu Deutschland GmbH, Tönisvorst, 02151-705-0. Ralf Piotraschke (Produktplanung/Homologation), 19.07.06.

DaimlerChrysler AG, Stuttgart, 0711-17-0. Marko Borgwardt (Team Auftragsprognose GOP), 23.05.05; 04.07.06.

Renault Nissan Deutschland AG, Brühl, 02232-73-0. Angela Lehmann (Produktkommunikation Renault), 03.06.05; 19.05.06.

Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Zuffenhausen, 0711-911-0. Stefan Marschall (Öffentlichkeitsarbeit), 08.06.05.

Fiat-Automobil AG, Frankfurt, 069-66988-0. Thomas Casper 31.05.05. Derselbe für Lancia, 13.06.05. Maya Wieder für Alfa, 23.05.05; Sascha Wolfinger 29.06.06.

Ford Werke AG, Köln, 0221-90-0. Hanns-Peter Bietenbeck (Senior Engineer Environmental Regulations), 14.07.05; 09.06.06.

Honda Motor Europe (North) GmbH, Offenbach, 069-8309-0. Peter Treutel (Product Manager), 11.07.05; 01.06.06.

Hyundai Motor Deutschland GmbH, Neckarsulm, 07132-487-0. Dirk Bartkowiak (Koordinator Aftersales), 07.06.05; 23.05.06.

Kia Motors Deutschland GmbH, Bremen, 0421-4181-0. Georg Lüße (Kundendienstabteilung), 19.05.05.

Land Rover Deutschland, Schwalbach Ts., 06196-9521-0. Ralf Buchhart, 08.06.05.

Mazda Motors Deutschland, Leverkusen, 02173-943-0. Karl Augenstein (produktmarketing mazda motors GmbH), 06.06.05.

Mitsubishi Motors Deutschland GmbH, Trebur, 06147-207-01. Valeska Haaf (Product Management Passenger Car), 06.06.05; Manuel Arnhold 22.05.06.

Peugeot Deutschland GmbH, Saarbrücken, 0681-879-0. Christine Clavier (Neuwagenlogistik), 02.06.05; Arnaud Perrin 02.06.06.

Renault Nissan Deutschland AG, Brühl, 02232-57-0. Michael Schweitzer (Neuwagenvertrieb Nissan), 10.06.05; 08.06.06.

Saab Deutschland, Bad Homburg, 06172-900-0. Erich Bernhardt (Autohaus Saab Frankfurt), 23.05.05.

SEAT Deutschland GmbH, Mörfelden-Walldorf, 06105-208-0. Burkhard Kolb (Vertrieb) 24.05.05; 19.05.06.

Skoda Deutschland, Weiterstadt, 06150-133-0. Eric Lehmann (Absatzplanung), 20.05.05; 30.5.06.

Smart GmbH, Böblingen, 07031-90-0. Hubert Kogel (Communications), 04.07.05; 06.07.06.

Subaru Deutschland GmbH, Friedberg, 06031-606-0. Simone Vrba (Fahrzeugdisposition), 07.06.05; 07.06.06.

Suzuki International Europe GmbH, Bensheim, 06251-5700-0 Jörg Nonhebel (Marketing and Communication Automobiles - Product Management - On-Road Automobiles), 23.05.05.

Toyota Deutschland, Köln, 02234-102-0. Michael Nordmann (Produktmarketing), 23.05.05; 29.05.06.

Volkswagen AG, Wolfsburg, 05361-9-0. Dr. Michael Mrowietz (Umweltplanung Produktion/Standorte), 18.02.05; 25.5.06.

Volvo Car Germany GmbH. Keine Befragung mehr, da alle Modelle mit AC in Serie.

Winfried Schwarz/Jochen Harnisch: Establishing the Leakage Rates of Mobile Air Conditioners. Report on the EU Commission (DG Environment). Frankfurt/Nürnberg 2003. http://www.oekorecherche.de/english/berichte/volltext/leakage_rates.pdf.
Waeco International GmbH, Emsdetten, 02572-879-0.
Franz-Josef Esch (Leiter Technik Klima), 25.05.05; 31.01.06.

Lkw-Klimaanlagen (2.F.1)

Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen, Reihe 3 Fahrzeugzulassungen, Sonderheft 1, Jahr 2004: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Herstellern und Typen. Statistische Mitteilungen, Reihe 1 Fahrzeugzulassungen, Neuzulassungen – Besitzumschreibungen – Löschungen – Bestand, Dezember 2005.
VDA (Verband der Automobilindustrie), Frankfurt, Analysen zur Automobilkonjunktur 2004, Jahrespressekonferenz am 27. Januar 2005 (Tabellenteil); Analysen zur Automobilkonjunktur 2005, Januar 2006.
DaimlerChrysler AG (Nutzfahrzeuge). Jean-Pierre Pochic (Commercial Vehicles Division), 21.04.05; 31.05.06 (Modelle Actros, Axor und Atego).
DaimlerChrysler AG, Stuttgart, 0711-17-0. Christopher Khanna (Produktmarketing Transporter) sowie Edmund Stoller 15.06.05 (Modelle Vito und Sprinter); Marko Borgwardt (Team Auftragsprognose GOP), 04.07.06.
Volkswagen AG, Werk Hannover, 0511-798-0. Stefan Schmitz (Zentrale Absatzplanung Nutzfahrzeuge), 26.05.05; 18.05.06 (Modelle Transporter/Caravelle, LT, Caddy).
Renault Nissan Deutschland AG, Brühl, 02232-73-0. Angela Lehmann (Produktkommunikation Renault), 03.06.05; 19.05.06 (Modelle Master und Kangoo).

Busklimaanlagen (2.F.1)

Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen, Reihe 3 Fahrzeugzulassungen, Sonderheft 1, Jahr 2004: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Herstellern und Typen. Statistische Mitteilungen, Reihe 1 Fahrzeugzulassungen, Neuzulassungen – Besitzumschreibungen – Löschungen – Bestand, Dezember 2005.
VDA (Verband der Automobilindustrie), Frankfurt, Analysen zur Automobilkonjunktur 2004, Jahrespressekonferenz am 27. Januar 2005 (Tabellenteil). Analysen zur Automobilkonjunktur 2005, Januar 2006.
EvoBus GmbH, Ulm, 0731-181-0. Jan Wenzelburger (Abt. RH HLK), 25.04.05; 18.07.06.
NEOPLAN Bus GmbH, Stuttgart, 0711-7835-0. Dr. Jörg Kirsamer (Leiter Kompetenzcenter HLK NEOMAN), 12.06.05; 14.06.06.

Landmaschinen-Klimaanlagen (2.F.1)

Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen, Reihe 3 Fahrzeugzulassungen, Sonderheft 1, Jahr 2004: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Herstellern und Typen. Statistische Mitteilungen, Reihe 1 Fahrzeugzulassungen, Neuzulassungen – Besitzumschreibungen – Löschungen – Bestand, Dezember 2005.
VDMA Landtechnik, Abteilung Markt und Konjunktur, Wirtschaftsbericht Landtechnik 2005, Autor: Gerd Wiesenhofer, Frankfurt im Juni 2005.
Im Übrigen wurden die Daten des Modells aus Winfried Schwarz: Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002, fortgeschrieben.

Schiffsklimaanlagen (2.F.1)

Zentralstelle SUK/SEA Tabelle 4, Zentrale Binnenschiffs-Bestandsdatei Stand 31.12.2004 und 31.12.2005, bei der WSD Südwest: Veränderungen der Binnenflotte.
<http://www.elwis.de/Verkehrsstatistik/zbbd/2004/Bestand.pdf>
<http://www.elwis.de/Verkehrsstatistik/zbbd/2005/Bestand.pdf>

Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V. (VSM) www.vsm.de Hamburg, 040-280152-0.
 VSM-Jahresbericht 2004 und VSM-Jahresbericht 2005.
 Wolfgang Kügel, Service Coordinator Johnson Controls Systems & Services GmbH, früher
 York Schiffskälte, 22143 Hamburg-Rahlstedt, 040-670511-0, 18.04.06.
 Verband Deutscher Reeder (VDR), 20354 Hamburg, 040-35097-0, Daten zur deutschen
 Handelsflotte 2004 und 2005, Auswertung für Öko-Recherche, 18.04.06.
 VDR, Daten zur wirtschaftlichen Bedeutung der deutschen Seeschifffahrt und zur
 Entwicklung der Handelsflotte, Hamburg 2005 und 2006.
 VDR, Seeschifffahrt 2005, Bericht des Präsidiums anlässlich der ordentlichen
 Mitgliederversammlung in Hamburg am 1. Dezember 2005.
 Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ccnr), Marktbeobachtung der Europäischen
 Binnenschifffahrt, 2005 – I, 67082 Strasbourg Cedex, 2006.
 Lloyd's Fairplay Register. Sea-Web, the Register of Ships online, <http://www.sea-web.com>
 Danube Commission 2006 Statistisches Jahrbuch der Donau-Kommission für das Jahr 2004.

Schienenfahrzeugklimaanlagen (2.F.1)

International Union of Railways (UIC), Paris, Railway time-series data 2005, Table B22
 Passenger transport stock.
 Deutsche Bahn AG, Frankfurt am Main, Broschüren zum Bestand der Schienenfahrzeuge.
 Ulrich Adolph, Leipzig, pers. Mitteilung, 26.03.2006.
 Eisenbahn-Kurier, Freiburg, verschiedene Ausgaben 2000 bis 2006.
 Stadtverkehr. Fachzeitschrift für den öffentlichen Personen-Nahverkehr auf Schiene und
 Straße, Freiburg, verschiedene Ausgaben 2000 bis 2006.
 Straßenbahn-Magazin, München, verschiedene Ausgaben 2000 bis 2006.
 Lutz Boeck, Manager Systems Engineering, Faiveley Transport Leipzig GmbH, Schkeuditz,
 pers. Mitt. 19.06.06.
 Harry Hondius, Straßenbahnen und ihre Antriebe, ETR – Eisenbahn-technische Rundschau,
 Hamburg, 51 (2002), H. 1-2.
 Neues von der Klimatechnik für Schienenfahrzeuge – InnoTrans 2006 in: Die Kälte &
 Klimatechnik 10/2006, S. 56-58.

Hartschaum (2.F.2)

PU-Hartschaum (2.F.2)

Solvay Fluor & Derivate GmbH, Hannover, 0511-857-0.
 Dr. Lothar Zipfel (Manager Foam Blowing Agents), Mengenabschätzung für Solkane
 365mfc, Vertrauliches Schreiben an Öko-Recherche, 17.06.05.
 Christoph Meurer (Manager Foam Blowing Agents, seit 2005), Informationen über die
 besondere Lage im Jahr 2004 bei den beiden HFKW-Treibmitteln 365mfc und 245fa;
 Mitteilung an Öko-Recherche über das Jahr 2005, 06.07.06.
 Bayer AG, Leverkusen, 0214-30-01. Dr. Rolf Albach (Geschäftsbereich Polyurethane),
 15.06.05.
 Elastogran GmbH, Lemförde, 05443-12-0.
 Karl-Wilhelm-Kroesen (Ökologie und Produktsicherheit), 14.06.05; 13.07.2006.

Integralschaum (2.F.2)

Elastogran GmbH, Lemförde, 05443-12-0.
 Karl-Wilhelm-Kroesen (Ökologie und Produktsicherheit), 14.06.05; 13.07.2006.
 Dr. Lothar Zipfel (Manager Foam Blowing Agents), Mengenabschätzung für Solkane 365mfc,
 Vertrauliches Schreiben an Öko-Recherche, 17.06.05.

Montageschaum (2.F.2)

Polypag AG, Appenzell (CH), Achim Niemeyer (Managing Director) +41-71 757 6411, Schreiben an Öko-Recherche, 10.06.05; 19.07.06.

XPS-Dämmschaum (2.F.2)

Cefic European Chemical Industry Council, Plastics Europe, Brussels. Carol Banner (Styrenids Technical Issue Manager) +32-2-676 7205, Schreiben an ÖR, 13.09.05; 26.06.06.

Feuerlöschmittel (2.F.3)

Kidde Deugra Brandschutzsysteme GmbH, Ratingen, 02102-405-0.

Peter Clauss, Datenaufstellung für FM-200 (227ea) im Jahr 2004, Schreiben an ÖR, 20.10.05.

Kidde Brand- und Explosionsschutz GmbH, Ratingen, 02102-405-0. Thomas Claessen, Datenaufstellung für FM-200 bis 2005, Schreiben an das Umweltbundesamt, 28.08.06.

Amtliche Prüfstelle für Feuerlöschmittel und – gerät bei der Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen Dresden, Außenstelle Freiberg, 03731-34850, Mitt. an das Umweltbundesamt (Cornelia Elsner), Anfang 2005; Anfang 2006.

Deutsche Brandschutztechnikfirmen verzichten auf Stoff mit hohem Treibhauspotenzial, Weitere Selbstverpflichtung zum Umgang mit fluorierten Treibhausgasen vorgelegt, in: Umwelt, 7-8/2006, S. 394-395.

Aerosole/MDI (2.F.4)

Dosieraerosole (MDI) (2.F.4)

Arbeitskreis Zeitgemäße Atemwegstherapie AZA (vorm. API), pers. Mitt. der darin vertretenen Pharmaunternehmen (GlaxoSmithKline, AstraZeneca u.a.) an ÖR, 28.09.05; 23.06.06.

Boehringer-Ingelheim Pharma GmbH & Co. KG, Ingelheim, 06132-77-0. Dr. Michael Köhler, Mitt. an ÖR, 06.10.05; 11.08.06.

Allgemeine Aerosole (2.F.4)

Industriegemeinschaft Aerosole e.V. im VCI, Frankfurt am Main, Matthias Ibel (Geschäftsführer) 069-2556-1508, Schreiben an ÖR, 10.06.05; 19.09.05.

IG-Sprühtechnik, Wehr, Klaus Broecker, Mitt. an ÖR, 21.09.05.

Tunap Deutschland, 09244 Lichtenau, 037208-82-0. Jens Georgi, Mitt. an ÖR, 23.09.05.

Tunap Deutschland, Wolfratshausen, 08171-1600-0, Dr. Knöthig, 19.09.05.

Würth, 74653 Künzelsau, 07940-15-0. Lothar Stockert, Mitt. an ÖR, 22.09.05.

Dr. Bernd Hoffbauer, Tunap Industrie Chemie GmbH & Co Produktions KG, 09244 Lichtenau (Sachsen) Tel: 037208-82280, Mitt. an Öko-Recherche, 20.06.06.

Novelties (2.F.4)

Industriegemeinschaft Aerosole e.V. im VCI, Frankfurt am Main, Matthias Ibel (069-2556-1508) Mitt. an ÖR, 19.09.05; 22.06.06.

Fédération Européenne des Aérosols (FEA), Brussels, Alain D'haese, Mitt. an ÖR, 19.09.05; 20.06.06.

Erwin Lohmann, WECO Pyrotechnische Fabrik, Eitorf/Sieg, 02243-833-0, Mitt. an Öko-Recherche, 20.06.06.

Lösemittel (2.F.5)

Biesterfeld Chemiedistribution GmbH & Co. KG, Hamburg, 040-32208-0.
K. Burmester, Mölln (Marketing und Beschaffung), 19.09.05; 20.06.06.

Halbleiterindustrie (2.F.6)

ZVEI, Fachverband Bauelemente der Elektronik (Dr. Dietrich/Dr. Winter): Freiwillige Meldung der PFC-Emissionen der Deutschen Halbleiterindustrie für 1995-2004 bzw. 1995-2005, an BMU und UBA, 19.05.05; 18.05.06.

Leiterplattenfertigung (2.F.6)

Linde AG, Werksgruppe Technische Gase, Unterschleißheim, 089-31001-0.
Ralf Hollenbach (Anwendungstechnik Elektronikgase), 16.09.05; 12.06.06.

Betriebsmittel zur Elektrizitätsübertragung (2.F.7)

Meldung der Monitoring-Daten bis 2004 an BMU und UBA durch den Fachverband Schaltgeräte, Schaltanlagen und Industriesteuerungen im ZVEI - aufgrund der 1997 abgeschlossenen und 2005 erweiterten Freiwilligen Selbstverpflichtung der SF₆-Produzenten, Hersteller und Betreiber von elektrischen Betriebsmitteln > 1kV zur elektrischen Energieübertragung und -Verteilung in der Bundesrepublik Deutschland zu SF₆ als Isolier- und Löschgas, Dessau, 23.06.05.

ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., Fachverband Energietechnik, Frankfurt, 069-6302-0.
Johannes Stein, Schreiben an Öko-Recherche, 06.06.06.

Andere Anwendungen von SF₆ (2.F.8)

Schallschutzscheiben (2.F.8)

Air Liquide Deutschland GmbH, Krefeld, 02151-379-0.
Stefan Paschmanns (Produktmanagement Zylinder & Bulk, Marketing Labor & Analytik), Mitt. an ÖR, 16.09.0; 12.06.06.

Air Products GmbH, Hattingen, 02324-689-0.
Kai Sander Schwarz, Mitt. an ÖR, 08.09.05; 29.06.06.

Linde AG, Höllriegelskreuth, 089-7446-0.
Dr. Hans-Jürgen Diehl (Zentraler Vertrieb Spezialgase), Mitt. an ÖR, 15.09.05; 29.03.06.

Autoreifen (2.F.8)

Air Liquide Deutschland GmbH, Krefeld, 02151-379-0.
Stefan Paschmanns (Produktmanagement Zylinder & Bulk, Marketing Labor & Analytik), Mitt. an ÖR, 16.09.0; 12.06.06.

Air Products GmbH, Hattingen, 02324-689-0.
Kai Sander Schwarz, Mitt. an ÖR, 08.09.05; 29.06.06.

Linde AG, Höllriegelskreuth, 089-7446-0.
Dr. Hans-Jürgen Diehl (Zentraler Vertrieb Spezialgase), Mitt. an ÖR, 15.09.05; 29.03.06.

Spurengas (2.F.8)

FZ Jülich, Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz, 02461-61-0. Hr. Möllmann, 20.06.05.

Flugzeug-Radar (2.F.8)

Linde AG, Höllriegelskreuth, 089-7446-0.

Dr. Hans-Jürgen Diehl (Zentraler Vertrieb Spezialgase), Mitt. an ÖR, 15.09.05; 29.03.06.

Sportschuhsohlen (2.F.8)

BMU Referat IG II 1, Vertrauliche Mitteilung von Rolf Engelhardt über den Einsatz von SF₆ und PFC-218 in Sportschuhsohlen, 13.09.05; 18.05.06.

Teilchenbeschleuniger (2.F.8)

Öko-Recherche-Vollerhebung zu Teilchenbeschleunigern Anfang 2004, in: Winfried Schwarz: Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002. Anpassung an die Anforderungen der internationalen Berichterstattung und Implementierung der Daten in das zentrale System Emissionen (ZSE), im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Juni 2005, UBA-Texte 14/05, S. 254-261. <http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2902.pdf>
ESI (Energy Sciences Incorporation), Urs V. Läubli, La Rippe, Schweiz (Leiter Verkauf Europa), 0041-22-3671072, 21.09.05.

Starkstromkondensatoren (2.F.8)

Mitteilung Johannes Stein vom ZVEI, Fachbereich Schaltgeräte, Schaltanlagen, Industriesteuerungen, an ÖR, Frankfurt am Main, 04.10.05; 06.06.06.

Optische Glasfasern (2.F.8)

Air Liquide Deutschland GmbH, Krefeld, 02151-379-0.

Stefan Paschmanns (Produktmanagement Zylinder & Bulk, Marketing Labor & Analytik), Mitt. an ÖR, 16.09.0; 12.06.06.

Metallproduktion (2.C)

Magnesium-Guss (2.C)

Schweizer & Weichand GmbH, Murrhardt, 07192-212-0.

Klaus Horny, 31.05.05; 19.05.06.

Honsel GmbH & Co. KG, Druckgusswerk Nürnberg, Nopitschstraße 71, 90441 Nürnberg, 0911 4150-0. Dr. Klaus Geissler (Sicherheitsbeauftragter), 08.06.05; 16.05.06.

Dietz-Metall GmbH & Co. KG, Unterensingen, 07022-6098-0.

Ingeborg Plankenhorn (Einkauf), 13.06.05; 21.06.06.

AMZ-Weißenseer Präzisionsguss GmbH, Berlin, 030-98606741. Frau Dietzel, 08.06.05; Sylvia Heinemann, 26.06.06.

Metallgießerei Wilhelm Funke, Alfeld (Leine), 05181-8459-0. Hr. Dreyer (GF), 07.06.05; 12.06.06.

Metallwerke Kloß Maulbronn GmbH, Maulbronn, 07043-13-0.

Winfried Reiling (UWS), 08.08.05; 15.05.06.

Pierburg GmbH, 41334 Nettetal, 02153-124-1.

Volker Theisen (P-PLA11) 07.06.05; Wilhelm Extra, 15.05.06.

Takata-Petri AG, Aschaffenburg, 06021-65-0.

Irene Bürkle (Safety & Environment), 23.05.05; André Sander, 06.06.06.

Volkswagen AG, Werk Kassel, Baunatal, 0561-490-0.

Helmar Pflock (HKW/32), 31.05.05; 07.06.06.

TRW Automotive GmbH, Aschaffenburg, 06021-314-0.

Enrico Geier (Health, Safety & Environmental Coordinator (HSEC), 30.05.05; 15.05.06.

Dynacast Deutschland GmbH, Bräunlingen, 0771-9208-0.

Sigmund Holzer (Einkauf), 07.06.05; 16.05.06.

Druckguss Heidenau GmbH, Dohna, 03529-588-0. Bert Niehoff (Einkauf), 07.06.05; 16.05.06.

HDO-Druckguss- und Oberflächentechnik GmbH, Paderborn, 05251-704-0.

Ferdinand Brakhane (Arbeits- und Umweltschutzmanagement), 31.05.05; 16.05.06.

Laukötter Gusstechnik GmbH, 59329 Wadersloh, 02523-9217-0, Michael Laukötter, 31.05.05.

Laukötter-Dessau GmbH, 06846 Dessau, 0340-6505-0. Gerd Lubaczowski, 16.05.06.

Druck- und Spritzgusswerk Hettich GmbH & Co. KG, Siegener Str. 37, 35066 Frankenberg, 06451-741-0. Helmut Cronau (Umweltkoordinator), 26.06.06.

Auer Guss GmbH, Mundfeldweg 11, 92224 Amberg, 09621-6582-0.

Ralf Weinfurtner (Leiter Einkauf), 10.06.05; 16.05.06.

Aluminium-Reinigung (2.C)

Linde AG, Höllriegelskreuth, 089-7446-0.

Dr. Hans-Jürgen Diehl (Zentraler Vertrieb Spezialgase), Mitt. an ÖR, 15.09.05; 29.03.06.

Aluminiumproduktion (2.C)

Fachverband Primäraluminium: Monitoringbericht über die Fortschritte bei der Reduktion der CF₄/C₂F₆ Emissionen der deutschen Primäraluminiumindustrie für das Jahr 2004, Berlin, 07.09.04.

Reiner Remus, Umweltbundesamt, Mitt. an Öko-Recherche, 13.09.06.

Produktion fluorierter Verbindungen (2.E)

Produktion von HFKW 134a, 227ea, SF₆ (2.E.2)

Nebenproduktemissionen von HFKW-23 (2.E.1)

Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover, 0511-857-0.

Dr. Ewald Preisegger (Environmental and Public Affairs Fluoroproducts), Mitteilung "Produktion in Deutschland und produktionsbedingte Emissionen für HFKW und SF₆ (in t)", 26.07.05; 25.07.06.

**III. Tabellarische Emissionsabschätzung für 2004 und 2005
im Vergleich zu 1995 und 1998-2003**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
71	Manuf. Emiss. [t]		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
72	HFC-134a		0,00		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
73	R-407C		0,00		0,03	0,06	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11
74	R-410A		0		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
75	R-404A		0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
76	Subtotal Emiss. w/o PFCs		9		49	66	85	108	131	155	179	210
77	Kilotonnes CO2 equiv.		11		64	88	116	149	183	219	255	300
78	Househ. Refr. HFC-134a t		1,2		1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,332
79	Househ. Ref. kt CO2 eq		1,6		1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
80												
81	Subt. HFC Stationary		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
82	Emiss. w/o PFCs [t]		67		512	693	852	1.002	1.153	1.353	1586	1855
83	Kilotonnes CO2 equiv.		169		1.171	1.599	1.994	2.375	2.758	3.231	3785	4392
84												
85	Mobile AC/Refriger.											
86	Passenger Car AC		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
87	Operating Emiss. [t]											
88	HFC-134a		129		555	765	979	1.185	1.385	1.576	1763	1941
89	HFC-152a											
90	Disposal Emiss. [t]											
91	HFC-134a								10	30	49	115
92	HFC-152a											
93	Manuf. Emiss. [t]											
94	HFC-134a		3		8	9	9	10	10	10	10	11
95	HFC-152a											
96	Subtotal Emiss. [t]		133		563	774	988	1.195	1.405	1.616	1822	2067
97	Kilotonnes CO2 equiv.		172		732	1.007	1.284	1.553	1.826	2.101	2.369	2.686
98	Truck Air Conditioners		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
99	Operating Emiss. [t]											
100	HFC-134a		4		19	28	38	49	59	70	81	92,4
101	Disposal Emiss. [t]											
102	HFC-134a									1,4	4,0	7,4
103	Manuf. Emiss. [t]											
104	HFC-134a		0,08		0,19	0,21	0,24	0,27	0,27	0,30	0,38	0,41
105	Subtotal Emiss. [t]		4		19	28	39	49	59	71	85	100
106	Kilotonnes CO2 equiv.		5		25	37	50	64	77	93	111	130
107	Bus Air Conditioners		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
108	Operating Emiss. [t]											
109	HFC-134a		12		32	39	46	53	60	66	72	75
110	Disposal Emiss. [t]											
111	HFC-134a									3,3	3,3	10
112	Manuf. Emiss. [t]											
113	HFC-134a		0,02		0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03
114	Subtotal Emiss. [t]		12		32	39	46	53	60	70	75	85
115	Kilotonnes CO2 equiv.		16		42	50	60	69	78	91	98	111
116	Agricult. Machines AC		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
117	Operating Emiss. [t]											
118	HFC-134a		3		12	16	20	24	29	34	38	42
119	Disposal Emiss. [t]											
120	HFC-134a										3	4
121	Manuf. Emiss. [t]											
122	HFC-134a		0,1		0,1	0,1	0,1	0,2	0,205	0,23	0,28	0,31
123	Subtotal Emiss. [t]		3		13	16	20	25	29	34	42	46
124	Kilotonnes CO2 equiv.		4		16	21	26	32	38	45	55	60
125	Rail Vehicle AC		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
126	Operating Emiss. [t]											
127	HFC-134a		1,95		4,46	5,51	6,38	7,39	8,51	9,30	9,83	10,35
128	Disposal Emiss. [t]											
129	HFC-134a											
130	Manuf. Emiss. [t]											
131	HFC-134a		0,02		0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02
132	Subtotal Emiss. [t]		2,0		4	6	6	7	9	9	10	10
133	Kilotonnes CO2 equiv.		2,6		6	7	8	10	11	12	13	13

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
134	Ship Air Conditioning		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
135	Operating Emiss. [t]											
136	HFC-134a		0		0,9	2,1	3,0	4,1	5,7	7,0	8,4	10,3
137	Disposal Emiss. [t]											
138	HFC-134a											
139	Manuf. Emiss. [t]											
140	HFC-134a		0		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,10	0,13
141	Subtotal Emiss. [t]		0		1,0	2,2	3,0	4,2	5,8	7,1	8,5	10,4
142	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>		0		1,4	2,9	4,0	5,5	7,5	9,2	11,1	13,5
143	Refrigerated Vehicles		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
144	Operating Emiss. [t]											
145	HFC-134a		2		7	10	12	13	15	15	15	15
146	404A		7		17	21	25	29	33	35	37	39
147	410A		0,2		2	2	3	3	4	5	5,17	6
148	152a v. 401B				0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,22	0,16	0,09
149	218 v. 413A				0,1	0,2	0,23	0,23	0,23	0,20	0,14	0,08
150	Disposal Emiss. [t]											
151	HFC-134a									2,7	2,3	2,53
152	404A									5,6	5,3	5,55
153	410A											
154	152a v. 401B									0,1	0,1	0,08
155	218 v. 413A									0,1	0,1	0,07
156	Manuf. Emiss. [t]											
157	HFC-134a		0,01		0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
158	404A		0,01		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
159	410A		0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
160	152a v. 401B				0,00	0,00						
161	218 v. 413A				0,00	0,00						
162	Subtotal Emiss. w/o PFC		9		26	34	40	46	52	64	65	68,0
163	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>		25,49		68,222	86,196	102,527	117,535	132,72	164,907	169,366	177,5
164	Reefer Container		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
165	Operating Emiss. [t]											
166	HFC-134a		3		11,21	13,9	16,6	19,2	22,1	25,4	29,0	33,1
167	404A				0,3	0,6	0,9	1,3	1,7	2,3	2,9	3,6
168	Disposal Emiss. [t]											
169	HFC-134a											
170	404A											
171	Subtotal Emiss. [t]		3,2		11,5	14,5	17,5	20,5	23,8	27,6	31,9	36,6
172	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>		4		16	20	24	29	34	40	47	55
173	Subt. HFCs mobile											
174	Emiss. w/o PFC [t]		166		670	914	1.160	1.400	1.644	1.899	2.140	2.424
175	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>		230		906	1.231	1.560	1.880	2.206	2.555	2.872	3.247
176	Other HFC ODS											
177	One-Component Foam		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
178	First Year Emiss. [t]											
179	HFC-134a		1080		1092	780	719	660	425	381	103	36
180	HFC-152a		720		728	780	719	660	425	475	154	54
181	Filling-Emiss. [t]											
182	HFC-134a		22,5		24	31,5	37,5	42	37,2	17,4	4,8	1,2
183	HFC-152a								9,30	21,6	7,2	1,8
184	Subtotal Emiss. [t]		1823		1844	1592	1475	1362	897	894	269	93
185	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>		1.534		1.553	1.164	1.084	1.005	662	587	162	56
186	PU Hard+Integr. Foam		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
187	First Year Emiss. [t]											
188	HFC-134a				92	92	92	92	92	97	60	75
189	HFC-365mfc/245fa								20	21	165	85
190	HFC-227ea								2	2	5	0
191	Operating Emiss. [t]											
192	HFC-134a				0,49	1,48	2,47	3,46	4,45	5,43	5,93	5,93
193	HFC-365mfc/245fa								0,28	0,89	5,36	11,2
194	HFC-227ea								0,02	0,07	0,21	0,33
195	Subtotal Emiss. [t]		0		92	93	94	95	118	126	241	177
196	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>		0		120	121	123	124	148	158	252	192

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
197	XPS Insulating Foam		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
198	First Year Emiss. [t]											
199	HFC-134a							495	540	390	377	344
200	HFC-152a							1150	1428	1313	1137	683
201	Operating Emiss. [t]											
202	HFC-134a							1,0	3,1	5,6	7,0	8,6
203	HFC-152a											
204	Subtotal Emiss. [t]		0		0	0	0	1646	1971	1709	1521	1036
205	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>							806	906	698	658	554
206	Asthma MDIs		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
207	Operating Emiss. [t]											
208	HFC-134a		0		27	36	47	106	160	171	160	173
209	HFC-227		0		0	8	37	36	40	32	28	26
210	Filling-Emiss. [t]											
211	HFC-134a							2	2	2	3	3
212	HFC-227											
213	Subtotal Emiss. [t]		0		27	44	84	143	201	205	191	202
214	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>				35	70	168	243	326	318	294	305
215	Oth Aerosols/Solvents		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
216	Operating Emiss. [t]											
217	HFC-134a (+43-10mee)		242		249	252	255	257	257	256	237	236,8
218	HFC-152a		10		10	10	11	15	15	15	14	13
219	Filling-Emiss. [t]											
220	HFC-134a		2,4		2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
221	HFC-152a		0,15		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
222	Subtotal Emiss. [t]		254		262	264	269	274	274	274	254	253
223	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>		318		329	331	336	339	339	339	314	314
224	Fire Extinguishers		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
225	Operating Emiss. [t]											
226	HFC-227				0,01	0,17	0,51	0,78	1,00	1,04	3,10	1,82
227	HFC-236fa							0,00227	0,01453	0,03098	0,09	0,19
228	HFC-23											0,0018
229	Filling-Emiss. [t]											
230	HFC-227				0,002	0,004	0,080	0,067	0,033	0,020	0,017	0,010
231	HFC-236fa							0,261	0,549	0,385	0,386	0,128
232	HFC-23											0,0001
233	Disposal Emiss. [t]											
234	HFC-227											
235	HFC-236fa											
236	HFC-23											
237	Subtotal Emiss. [t]				0,01	0,18	0,6	1,11	1,6	1,5	3,6	2,1
238	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>				0,04	0,5	1,7	4,1	6,5	5,7	12,0	7,3
239												
244	Subtot. HFC ODS Other											
245	Emiss. [t]		2.077		2.225	1.993	1.922	3.521	3.463	3.210	2.481	1.763
246	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>		1.853		2.036	1.688	1.712	2.520	2.387	2.105	1.693	1.427
247												
248	Total HFC ODS		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
249	Total HFC Emiss [t]											
250	Subtotal I stat [t]		67		512	693	852	1.002	1.153	1.353	1586	1855
251	Subtotal II mobil [t]		166		670	914	1.160	1.400	1.644	1.899	2140	2424
252	Subtotal III other [t]		2.077		2.225	1.993	1.922	3.521	3.463	3.210	2.481	1.763
253	Subtotal HFC ODS Ems. [t]		2.309		3.408	3.600	3.934	5.923	6.260	6.462	6.207	6.042
254												
255	Total HFC ODS Ems.											
256	Subtotal Stat		169		1.171	1.599	1.994	2.375	2.758	3.231	3.785	4.392
257	Subtotal Mobile		230		906	1.231	1.560	1.880	2.206	2.555	2.872	3.247
258	Subtotal Other		1.853		2.036	1.688	1.712	2.520	2.387	2.105	1.693	1.427
259	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>		2.251		4.113	4.518	5.266	6.776	7.350	7.892	8.351	9.067
260												
261	HFC Prod. etc.		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
262	Magnesium Casting											
263	HFC-134a [t]									0,2	0,2	1,21
264	<i>Kilotonnes CO2 equiv.</i>									0,291	0,307	1,574

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
265	Semiconduct. HFC-23 [t]											
266	Emiss. [t]		1,06		1,00	1,05	1,44	1,22	0,94	1,33	1,47	1,35
267	Kilotonnes CO2 equiv.		12,4		11,7	12,3	16,9	14,3	11,0	15,6	17,2	15,8
268	HFC Production											
273	Total HFC Prod. etc. Ems [t]		366		260,2	249	129	120	132	75	74	79
274	Kilotonnes CO2 equiv.		4.231		2.845	2.685	1.224	1.105	1.223	549	529	533
275												
276	Total HFC Emiss. [t]		2.675		3.668	3.848	4.063	6.043	6.393	6.537	6.281	6.121
277	Kilotonnes CO2 equiv.		6.482		6.958	7.203	6.490	7.881	8.573	8.441	8.879	9.600
278												
279	PFC		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
280	Aluminium Production											
281	Manuf. Emiss. [t]											
282	CF4		209		157	116	48	50	58	64	60	45,3
283	C2F6		21		15,7	12	5	5	5,8	6,6	6,0	4,7
284	Emiss PFC [t]		230		173	128	53	55	64	70	66	50
285	Kilotonnes CO2 equiv.		1.552		1.166	864	356	372	431	475	446	338
286	Refrigerants		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
287	Op.+ Disp.+Manuf Emiss. [t]											
288	C2F6 (R-116)				0,5	0,8	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,4
289	C3F8 (R-218)		1,2		7,3	9,4	10,4	11,1	11,7	12,3	13,0	14,5
290	Emiss PFC [t]		1,2		7,8	10,2	11,6	12,7	13,7	14,9	15,9	17,8
291	Kilotonnes CO2 equiv.		8,2		56,0	73,4	84,0	92,9	101	110	118	132
292	PCB Manufacture		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
293	Manuf. Emiss. [t]											
294	CF4		2		2	2	2	2	2	2	2	2
295	Emiss PFC [t]		2		2	2	2	2	2	2	2	2
296	Kilotonnes CO2 equiv.		13		13							
297	Semiconductors		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
298	Manuf. Emiss. [t]											
299	C2F6		11,3		17,3	18,8	18,5	12,7	12,8	14,4	13,3	11,73
300	CF4		11,2		11,7	17,1	20,5	15,8	15,5	14,3	13,4	13,12
301	C3F8		0		0,2	0,8	4,1	3,7	4,3	4,8	6,2	5,85
302	c-C4F8		0		0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,17
303	Emiss PFC [t]		23		29	37	43	32	33	34	33	31
304	Kilotonnes CO2 equiv.		177		238	292	333	246	250	260	254	236
305												
306	Total PFCs		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
307	PFC Emiss [t]		256		212	177	110	102	112	121	117	101
308	Kilotonnes CO2 equiv.		1.750		1.473	1.243	786	723	795	858	830	718
309												
310	SF6		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
311	El. Equipment T&D											
312	Manufact. Switchgear t		20,0		16,6	10,8	9,48	7,3	8,0	5,4	6,1	6,4
313	Manufact. T&D Components t		16,7		25,9	25,6	26,62	27,0	23,3	18,4	16,0	12,0
314	Bank Emissions t		7,3		7,7	8,1	7,33	7,6	7,7	8,7	10,1	8,5
315	Disposal Emissions t				0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
316	Subtotal Emiss. [t]		44,1		50,2	44,6	43,5	42,0	39,0	32,6	32,3	27,0
317	Kilotonnes CO2 equiv.		1.053		1200	1066	1039	1004	933	779	772	645
318												
319	Particle Accelerators		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
320	Manuf. Emissions t				0,03	0,02	0,02	0,002	0,003	0,00	0,00	0,00
321	Bank Emissions t		4,4		4,9	4,8	5,0	4,8	4,9	4,9	4,9	4,9
322	Disposal Emissions t		0,07		0,04	0,09	0,0	0	0	0	0	0
323	Subtotal Emiss. [t]		4,5		5,0	4,9	5,0	4,8	4,9	4,9	4,9	4,9
324	Kilotonnes CO2 equiv.		108		119	118	120	115	117	117	117	117
325												
326	Magnesium Casting		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
327	Manufacturing Emiss t		7,8		9,4	8,8	13,4	17,4	16,1	19,2	24,9	27,9
328	Subtotal Emiss. [t]		7,8		9	9	13	17	16	19	24,9	27,9
329	Kilotonnes CO2 equiv.		188		224	210	320	417	385	458	594	668

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
331	Soundproof Glazing		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
332	Manuf. Emissions t		92		37	32	29	25	14	10	9,3	5,7
333	Bank Emissions t		16,2		19,5	20,0	20,4	20,7	20,9	20,8	20,7	20,4
334	Disposal Emissions t						2,7	5,6	11,4	17,5	23,9	30,4
335	Subtotal Emiss. [t]		107,9		56,5	52,0	51,7	51,3	46,4	48,3	53,8	56,5
336	Kilotonnes CO2 equiv.		2.578		1.350	1.244	1.236	1.227	1.108	1.155	1.287	1.350
337												
338	Car Tires		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
339	Disposal Emissions t		110		125	67	50	30	9	6	4	2,7
340	Subtotal Emiss. [t]		110,0		125,0	67	50	30	9	6	4	2,7
341	Kilotonnes CO2 equiv.		2.629		2.988	1.601	1.195	717	215	143	96	65
342												
343	Sole/Radar/Glass/Weld		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
344	Subtotal Emiss. [t]		18,5		22,3	24	23,3	15,3	13,9	14,0	11,9	14,0
345	Kilotonnes CO2 equiv.		442		532	574	557	365	332	335	284	336
346												
347	Tracergas/Al-Casting		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
348	Manufacturing Emiss t		1,0		1,0	11,0	14,5	32,5	35,5	45,5	46,1	57,5
349	Subtotal Emiss. [t]		1,0		1,0	11,0	14,5	32,5	35,5	45,5	46,1	57,5
350	Kilotonnes CO2 equiv.		23,9		23,9	263	347	777	848	1.087	1102	1374
351												
352	Semiconductors		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
353	Manufacturing Emiss t		2,0		2,4	2,2	2,4	1,8	2,4	2,6	3,4	3,12
354	Subtotal Emiss. [t]		2,0		2,4	2,2	2,4	1,8	2,4	2,6	3,4	3,1
355	Kilotonnes CO2 equiv.		49		58	52	56	44	56	62	80	75
356	23900											
357	Other SF6		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
358			7		9	8	9	10	10	10	10	10
359	Subtotal Emiss. [t]		7		9	8	9	10	10	10	10	10
360	Kilotonnes CO2 equiv.		167		215	191	215	239	239	239	239	239
361												
362			1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
363	Total SF6											
364	Total Emiss. [t]		303		281	223	213	205	177	183	191	204
365	Kilotonnes CO2 equiv.		7.237		6.709	5.319	5.086	4.905	4.233	4.377	4.571	4.868
366												
367												
368	Total F-Gas-Emissions		1995		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
369												
370	Total HFC [t]		2.675		3.668	3.848	4.063	6.043	6.393	6.537	6.281	6.121
371	Total PFC [t]		256		212	177	110	102	112	121	117	101
372	Total SF6 [t]		303		281	223	213	205	177	183	191	204
373	Total F-Gas Emiss. [t]		3.234		4.161	4.248	4.385	6.351	6.682	6.841	6.589	6.425
374												
375	HFC ktonnes CO2 equiv.		6.482		6.958	7.203	6.490	7.881	8.573	8.441	8.879	9.600
376	PFC ktonnes CO2 equiv.		1.750		1.473	1.243	786	723	795	858	830	718
377	SF6 ktonnes CO2 equiv.		7.237		6.709	5.319	5.086	4.905	4.233	4.377	4.571	4.868
378	Kilotonnes CO2 equiv.		15.469		15.140	13.765	12.362	13.509	13.601	13.675	14.281	15.186

Teil II

Unsicherheitsbestimmung bei F-Gasen im Emissionsinventar des ZSE

Gliederung des zweiten Teils

Unsicherheiten sind die Abweichungen des wahren Werts vom berichteten Wert. Die quantitative Angabe der Abweichungen von den berichteten F-Gas-Emissions-Daten ist im Rahmen der nationalen Berichterstattung unter der UNFCCC gefordert und ist Bestandteil des Emissionsinventars im Zentralen System Emissionen (ZSE).

Nachfolgender zweiter Teil dieser Studie quantifiziert die Unsicherheiten als relative Abweichungen von den Eingabewerten des ZSE. Dabei ist der Eingabewert stets 1, und die Abweichungen nach oben und unten werden als Fraktionen von 1 bestimmt. Die Unsicherheitsbestimmung komplexer Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren folgt den Berechnungsweisen, welche die IPCC-Richtlinien von 1999 bzw. 2006 für kombinierte Unsicherheiten vorgeben. Zur Begründung werden meistens Schätzungen von Experten herangezogen – teils von externen Branchenexperten, teils von Öko-Recherche, die sich auf über zehn Jahre Erfahrung mit der sektoralen Datenerhebung stützen. In Fällen, in denen empirische Studien vorliegen, erfolgt die Unsicherheitsbestimmung nach statistischen Standardmethoden.

Die Unsicherheitsbestimmung wird in allen 37 Anwendungen fluorierter Treibhausgase durchgeführt.

Unsicherheiten als Bestandteil der Berichtspflicht

Die Angabe der Unsicherheiten der berichteten Emissionen ist Bestandteil des Emissionsinventars im Zentralen System Emissionen (ZSE). Sie ist im Rahmen der nationalen Berichterstattung unter der UNFCCC gefordert.

Unsicherheiten sind die Abweichungen des wahren Werts vom berichteten Wert. Sie werden quantifiziert als absolute oder relative Abweichungen davon. In der nachfolgenden Abhandlung zu den Unsicherheiten der deutschen F-Gas-Emissionen mit Schwerpunkt 2004 und 2005 werden Abweichungen vom Berichtswert (UNFCCC) bzw. Eingabewert (ZSE) nicht als absolute Größen, sondern ausschließlich relativ abgeschätzt. Dabei ist der Eingabewert stets 1, und die Abweichungen nach oben und unten werden als Fraktionen von 1 bestimmt. Eine Unsicherheit von 0,1 bedeutet, dass der wahre Wert um 10 % nach oben *und* unten vom Eingabewert abweichen kann. In der Regel sind die Abweichungen nach oben und unten gleich groß. Dann liegt symmetrische Verteilung vor und wir verzichten auf die \pm Vorzeichen. Nur wo asymmetrische Verteilung besteht, bei ungleicher Abweichung nach oben und unten, werden nachfolgend die Vorzeichen gesetzt.

International sind zwar die der Berichtspflicht unterliegenden Emissionen vorgegeben, ihre Berechnungsweise hat sich aber in jedem Land unterschiedlich herausgebildet. Darum liegt auch nicht international fest, welche Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren im Einzelnen der Unsicherheitsbestimmung unterzogen werden müssen. Sie ergeben sich für Deutschland vielmehr aus der Eingabelogik des ZSE, die wiederum zu großen Teilen auf der Öko-Recherche-Studie von 2004 "Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen in Deutschland für die Jahre 1995-2002" basiert.

I. Unsicherheiten bei Emissionen aus offener Anwendung

In einigen Fällen werden Emissionen direkt ermittelt und ins ZSE eingegeben. Das betrifft alle offenen Anwendungen wie z. B. Schutzgas für Magnesiumguss, SF₆ als Spurengas, HFKW als Lösemittel, HFKW als Treibmittel für PU-Integralschaum. Hier ist inländischer Verbrauch unmittelbar identisch mit inländischen Emissionen (Emissionsrate 100%). Die Unsicherheitsbestimmung ist in solchen Fällen einfach – vom Standpunkt der Methode aus gesehen. Denn es muss lediglich ein einziger Wert gefunden werden. Dieser beträgt z. B. für die HFKW-Emissionen aus der Anwendung als Treibmittel für PU-Integralschaum 0,1.

II. Unsicherheiten bei Emissionen mit einfachen Aktivitätsraten

Wo Emissionen nicht direkt ermittelt werden können, gilt für die Bestimmung ihres Umfangs generell die Gleichung "Emission (EM) = Aktivitätsrate (AR) x Emissionsfaktor (EF)". Demnach setzt sich die Unsicherheit (UN) einer Emission aus der UN der zu Grunde liegenden Aktivitätsrate und der UN des verwendeten Emissionsfak-

tors zusammen. Gemäß IPCC-Guidelines von 1999 und ihrer Neufassung von 2006³ werden die Unsicherheiten der Aktivitätsrate und des Emissionsfaktors zur Gesamtunsicherheit der Emission nicht durch einfache Multiplikation kombiniert, sondern nach der Formel "Kombinierte Unsicherheit = Wurzel aus der Quadratesumme der einzelnen Unsicherheiten" berechnet. Die Gleichung lautet:

$$U_{\text{total}} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}.$$

Die Bestimmung kombinierter Emissions-Unsicherheiten lässt sich in Fälle mit einfachen Aktivitätsraten und in Fälle mit komplexen Aktivitätsraten unterscheiden.

Als Beispiel für einfache Aktivitätsraten mag die Herstellung von PU-Hartschaum mithilfe des HFKW-134a dienen. Aktivitätsrate ist die Verbrauchsmenge des HFKW im Jahr n, die von Branchenexperten auf 200 t geschätzt wird. Die Unsicherheit dieser Angabe beträgt 0,05, denn die befragten Experten räumen einen Spielraum von 190 bis 210 t ein. Bei der Schäumung gelangt der HFKW nicht ganz in das Produkt, sondern entweicht zu einem bestimmten Teil (Emissionsfaktor) in die Atmosphäre. Der Emissionsfaktor im ZSE ist 10% und weist, ebenfalls expertengestützt, eine Unsicherheit von 0,1 auf. Die Unsicherheit der AR von 0,05 in Kombination mit der Unsicherheit des EF von 0,1 ergibt für die Herstellemissionen von HFKW im PU-Hartschaumsektor eine kombinierte Unsicherheit von 0,1118. Denn dies ist die Wurzel aus der Summe der Quadrate von 0,05 und 0,1⁴.

III. Unsicherheiten bei Emissionen mit komplexen Aktivitätsraten

Im F-Gas-Emissionsinventar des ZSE sind derart einfache Unsicherheitsbestimmungen nicht die Regel. Vielmehr gilt, dass die Unsicherheitsbestimmung so einfach oder so komplex ist wie die Dateneingabe selbst. Komplex sind die Daten und damit ihre Unsicherheitsbestimmung weniger wegen der Emissionsfaktoren, sondern vor allem wegen der Aktivitätsraten, und zwar dort, wo diese nicht direkt als Menge eines bestimmten F-Gas-Typs fertig eingegeben werden können, sondern für das ZSE oder im ZSE erst über Zwischenschritte ermittelt, sprich zusammengesetzt werden müssen. Solche Aktivitätsraten sind typisch für Anwendungen in geschlossenen Systemen. Zu diesen gehört der ganze Bereich Kälte-Klima (HFKW als Kältemittel), der 2005 zu den gesamten inländischen F-Gas-Emissionen in Höhe von 15 Mio. t CO₂-Äquivalenten allein die Hälfte, nämlich 7,6 Mio. t beigetragen hat.

Die quantitativ bedeutendsten Emissionen aus diesem Bereich sind die Bestands- oder Betriebsemissionen, die als jährlich entweichender Teil des HFKW-Bestands in den Anlagen eines Sektors definiert sind.

³ IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 1999 (Accepted and published 2000), Chapter 6 Quantifying Uncertainties in Practice. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, hrsg. Von IGES, Vol 1, Chapter 3 Uncertainties.

⁴ Die Quadrate von 0,05 und 0,1 sind 0,0025 und 0,01. Die Summe dieser beiden Quadrate ist 0,0125. Daraus die Quadratwurzel ist 0,1118.

IV. Gleiche Unsicherheit von Neuzugang und Bestand im ZSE

Die Schwierigkeit besteht nicht darin, die Aktivitätsrate Bestand zu ermitteln. Denn in den vom ZSE verwendeten Modellen ist der Bestand nichts anderes als die Summe jährlicher Neuzugänge (abzgl. jährlicher Abgänge durch Entsorgung). Das bedeutet, dass die Unsicherheit des Neuzugangs zugleich die Unsicherheit des Bestands ist. Denn sukzessive Neuzugänge kombinieren sich nicht in ihrer Unsicherheit, sondern es addieren sich lediglich ihre absoluten Unsicherheiten, so dass die Abweichung als relative gleich bleibt. Das gilt auch für eine weitere wichtige Aktivitätsrate der Berichterstattung, die Entsorgungsmenge. Denn auch diese ist im ZSE ein Neuzugang, nämlich derjenige, der um die Lebensdauer der Anlagen zeitlich zurückliegt⁵. Zentrale Aktivitätsrate bei geschlossenen Systemen, deren Unsicherheit primär bestimmt werden muss, ist der Neuzugang, genauer: der jährliche Neuzugang von F-Gasen zum vorhandenen inländischen Bestand.

Wir weisen darauf hin, dass die quantitative Gleichsetzung von Bestand mit der Summe der Neuzugänge (abzüglich der Abgänge nach Ende der Lebensdauer) eine Vereinfachung ist, die der Wirklichkeit der Bestandsentwicklung nicht gerecht wird. Denn der wirkliche Bestand ist infolge vorzeitiger Abgänge immer kleiner. Die Gleichsetzung im ZSE ist aber aufgrund der aktuellen Datenlage notwendig. Im Bereich mobiler Kälte-Klimasysteme, wo es eine Statistik des Kraftfahrtbundesamts zur Altersstruktur der Straßenfahrzeuge gibt, versucht das ZSE immerhin, den Bestandsschwund mit einer zusätzlichen Unsicherheitsbestimmung zu berücksichtigen. Aber sonst sind direkte Bestandserhebungen im F-Gas-Bereich selten und kommen bislang nur in sehr homogenen Sektoren vor, wie es etwa die Anwendung von SF₆ in Schaltanlagen ist. Im Kälte-Klima-Bereich könnte sich die Datengewinnung künftig durch die Nutzung neuer Datenbanksysteme verbessern, was dann auch höhere Datensicherheiten mit sich brächte.

V. Berechnung der Unsicherheit zusammengesetzter Aktivitätsraten

Welches sind die Schritte auf dem Weg zur fertigen zusammengesetzten Aktivitätsrate Neuzugang, genauer, Neuzugang eines bestimmten F-Gas-Typs in einem Sektor (etwa des Kälte-Klima-Bereichs)? In der Regel handelt es sich um drei Stufen.

Ausgangspunkt ist stets die Stückzahl der jährlich neu in Betrieb gehenden Anlagen im fraglichen Sektor. Beispiele: Neu installierte Raumklimageräte der Bauart Split. Oder Neuzulassungen von Pkw.

Zweiter Schritt ist bei Kälte und Stationärem Klima die Abschätzung der Anteile der verschiedenen Kältemittel des Sektors untereinander (Kältemittelsplit). Bei Mobilklima, wo nur ein einziges Kältemittel eingesetzt wird, ist der zweite Schritt nicht der Kältemittelsplit, sondern die Ausrüstungsquote mit Klimaanlage (Klimaquote). (Die Ausrüstungsquote erübrigt sich bei Anlagen in Kälte und Stationärem Klima, da sie alle per definitionem Kältemittel enthalten.)

⁵ Daran ändert auch der Umstand nichts, dass das ZSE die Unsicherheit der Lebensdauer selber mit einem bestimmten Pauschalwert berücksichtigt, der die Unsicherheit der Entsorgungsmenge gegenüber der Unsicherheit des Neuzugangs erhöht.

Dritter Schritt ist in beiden Bereichen die Feststellung der durchschnittlichen Kältemittel-Füllmenge der Neuanlagen im fraglichen Sektor.

Der Neuzugang als Menge eines bestimmten HFKW-Typs in einem Kälte-Klima-Sektor ist im ZSE stets entweder das Produkt aus "Stückzahl x Kältemittelsplit x Füllmenge" oder "Stückzahl x Klimaquote x Füllmenge".

Aus diesem dreistufigen – mitunter auch vierstufigen - Aufbau der Aktivitätsraten im Kälte-Klima-Bereich folgt, dass nicht nur eine einzige Unsicherheit zu quantifizieren ist, sondern mindestens drei – auf jeder Stufe eine -, um die Unsicherheit der fertigen Aktivitätsrate vor Anwendung des Emissionsfaktors zu erhalten. Die Unsicherheiten von Stückzahl, Kältemittelsplit und Füllmenge werden mithilfe der allgemeinen Gleichung (siehe oben) zur (rechnerischen) Gesamtunsicherheit der Aktivitätsrate Neuzugang kombiniert⁶. Kombiniert mit der zusätzlichen Unsicherheit des Bestands-Emissionsfaktors ergibt sich dann die berechnete Gesamtunsicherheit der sektoralen Bestandsemissionen.

Illustration der Berechnungsweise

Die Bestimmung der Gesamtunsicherheit der Aktivitätsrate Neuzugang sei am Beispiel Raumklimageräte illustriert. Gesucht ist der Neuzugang des Kältemittels R-407C im Segment Split-Geräte. Lt. Tabelle im nachfolgenden Text beträgt die Stückzahl-Unsicherheit für diesen Gerätetyp (sonst gibt es noch die Typen Multi-Split und Mobil) 0,06. Die Unsicherheit des Anteils des Kältemittels 407C gegenüber 410A wird auf 0,07 geschätzt. Schließlich wird für die mittlere Kältemittel-Füllmenge von Raumklimageräten eine Unsicherheit von 0,05 veranschlagt. Die resultierende Gesamt-Unsicherheit des 407C-Neuzugangs in Splitgeräten beträgt 0,105, wenn die Unsicherheiten 0,06, 0,07 und 0,05 kombiniert werden. Die Summe ihrer einzelnen Quadrate ist 0,011. Daraus die Wurzel ist 0,105 (aufgerundet).

Die Unsicherheit des Emissionsfaktors des Bestands beträgt 0,1. Die Unsicherheit der Bestandsemissionen aus Raumklimageräten ist daher 0,145 (0,105; 0,1).

VI. Die Reihenfolge der Unsicherheitsbegründungen

Die nachfolgenden sieben Kapitel präsentieren und begründen die quantitativen Unsicherheiten von Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren in den verschiedenen F-Gas-Sektoren. Die Gliederung richtet sich hauptsächlich nach der Komplexität der Unsicherheitsbestimmung der Aktivitätsraten. Sie beginnt mit Sektoren mit zusammengesetzten Aktivitätsraten und anlagespezifischen Emissionsfaktoren, wie sie für geschlossene Systeme im Kälte-Klima-Bereich typisch sind; am Ende stehen offene Anwendungen, bei denen die Bestimmung der Unsicherheiten einfach ist, weil

⁶ Wo vom Außenhandel abgesehen werden kann, was bei stationären Systemen häufig der Fall ist, ist mit der dreistufigen Unsicherheit des Neuzugangs zugleich die Unsicherheit des Verbrauchs gegeben. Dieser ist nicht nur internationaler Berichtswert, sondern auch meistens die Aktivitätsrate für die Befüllemmissionen. Wo infolge Außenhandels (üblich bei mobilen Systemen) Verbrauch und Neuzugang voneinander abweichen, müssen der Verbrauch und seine Unsicherheit zwar gesondert bestimmt werden, aber die Methode der stufenweisen Ermittlung ist dieselbe. Nur die Zahlenwerte, die einzusetzen sind, sind andere.

nur einfache Aktivitätsraten vorkommen und die Emissionsfaktoren 100% betragen, so dass sie definitionsgemäß keine Unsicherheit aufweisen.

Die Reihenfolge der Darstellung lautet:

1. Geschlossene Systeme mit zusammengesetzter Aktivitätsrate in Kälte- und stationären Klimasystemen (sieben Anwendungen);
2. Geschlossene Systeme mit zusammengesetzter Aktivitätsrate im Bereiche Mobilklima (sechs Anwendungen);
3. Geschlossene Systeme mit einfacher Aktivitätsrate (sieben Anwendungen);
4. Halboffene Systeme (sechs Anwendungen);
5. Offene Anwendungen (neun Anwendungen);
6. Produktion fluorierter Gase (drei Fälle);
7. Halbleiterindustrie und Leiterplattenfertigung.

Bevor die Sektoren in der Eigenheit ihrer Unsicherheitsbegründungen vorgestellt werden, erläutert jedes Mal eine kurze Einleitung die Hauptmerkmale der Gruppe, und eine Tabelle zeigt die sektoralen Unsicherheiten im Überblick. Die Tabellen werden am Schluss in einem Anhang noch einmal zusammenhängend wiedergeben.

Bemerkung zu den Quellen der Unsicherheitsbegründungen

Die Anzahl einzelner Unsicherheitsbestimmungen ist so groß, dass Begründungen durch empirische Studien selten sind und Begründungen durch Schätzungen von Branchenexperten zahlenmäßig längst nicht ausreichen. Als langjährige Experten der Datenerhebung erlauben wir, d.h. Öko-Recherche, uns daher in vielen Fällen selber, die Bestimmung vorzunehmen. Wo im Text nicht ausdrücklich anders vermerkt, ist die Unsicherheit unsere eigene Schätzung.

Begründung der Unsicherheiten im ZSE nach Sektoren

I. Geschlossene Systeme mit zusammengesetzter Aktivitätsrate I

Charakteristik. Zu dieser Gruppe gehören die fünf Sektoren der stationären Kälte- und Klimatechnik sowie die zwei Sektoren der mobilen Kältesysteme.

Der HFKW-Neuzugang ist die zentrale komplexe Aktivitätsrate, auf der die beiden anderen komplexen Aktivitätsraten Bestand und Entsorgungsmenge gründen. Denn im ZSE ist Bestand definiert als Summe der Neuzugänge (minus Abgänge) bis zum Berichtsjahr, und die Entsorgungsmenge ist der um die Jahre der Anlagen-Lebensdauer zurückliegende Neuzugang. Darum sind die Unsicherheiten von Bestand und Entsorgungsmenge gleich derjenigen des Neuzugangs.

Die zentrale Aktivitätsrate "Neuzugang" wird in drei Stufen ermittelt: "Stückzahl – Kältemittelsplit – Füllmengen". Ihre Unsicherheit ist die Kombination der Unsicherheiten dieser drei einzelnen Variablen. Der inländische HFKW-Verbrauch entspricht grundsätzlich dem HFKW-Neuzugang, weil vom Außenhandel mit befüllten Anlagen abgesehen werden kann.

Grundsätzlich müssen für alle drei Typen von Emissionsfaktoren (Befüllung, Bestand, Entsorgung) eigene Unsicherheiten bestimmt werden, so dass die Unsicherheiten der drei Typen von Emissionen aus der Kombination der Unsicherheit der drei Emissionsfaktoren mit der Unsicherheit des Neuzugangs resultieren.

Tab. 1 Quantifizierte Unsicherheiten von Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren, Emissionen – Geschlossene Systeme mit zusammengesetzter Aktivitätsrate I

	Wärmep	Stat AC	Raumkl	Industrie	Gewerbe	Kühlcont	Kühlfahrz
Stückzahl	± 0	± 0,1	± 0,06	± 0,175	± 0,175	± 0,03	± 0,0
KM-Split	± 0,05	± 0,05	± 0,07	± 0,07	± 0,07	± 0,05	± 0,1
Füllmenge	± 0,1	± 0,05	± 0,05	± 0,07	± 0,07	± 0,06	± 0,1
Neuzugang	ber.	ber.	ber.	ber. (± 0,2)	ber. (± 0,2)	ber.	ber.
Verbrauch	= Neuz.	= Neuz.	-	= Neuz.	= Neuz.	-	wie Neuz.
Bestand	= Neuz.	= Neuz.	= Neuz.	= Neuz.	= Neuz.	= Neuz.	= Neuz.*
Ents.Menge	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1
EF _{Bestand}	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,14	± 0,14	± 0,1	± 0,1
EF _{Befüllung}	+0,5/-0	+0,5/-0	na	± 0,5	± 0,5	na	+0,5/-0
EF _{Entsorg}	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2
Emissionen	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.

Erläuterung: In den Tabellen bedeutet "ber." berechnet, was heißt, dass die entsprechenden Unsicherheiten aus den Unsicherheiten vorstehender unabhängiger Daten abgeleitet sind.

* Die Unsicherheit des Bestands ist bei Kühlfahrzeugen nur nach oben gleich derjenigen des Neuzugangs. Nach unten schließt sie zusätzlich die prozentuale Differenz zwischen den Bestandszahlen des ZSE und KBA ein.

1. Wärmepumpen

Die Zahl neu installierter Wärmepumpen steigt kontinuierlich an. Zu den Stückzahlen liegen Statistiken vor. Die Informationen zu Füllmengen, Kältemitteln und Emissionsfaktoren stammen von Branchenexperten, die regelmäßig befragt werden.

1. Stückzahl. Für die Zahl der jährlich neu in Betrieb genommenen Wärmepumpen insgesamt sowie ihrer vier Untersysteme Warmwasser, Luft, Erdreich und Wasser wird keine Unsicherheit (UN) veranschlagt, weil die Marktdaten vom Verband BWP unseres Erachtens akkurat gesammelt werden.
2. Kältemittelsplit. Beim Mix zwischen R-134a, R-410A (seit 1998), R-404A und R-407C innerhalb der vier Untersysteme beträgt die UN 0,05 für jedes Kältemittel.
3. Füllmengen. Die Kältemittel-Füllungen sind mit 0,5 bis 4 kg so klein, dass bereits wenige Gramm Abweichung starke relative UN bedeuten. Diese wird mit 0,1 beziffert.

Die berechnete Gesamt-UN der Aktivitätsrate Neuzugang (gleichgesetzt dem inl. Verbrauch) beträgt generell 0,112 (0,0; 0,05; 0,1); dieser Wert gilt auch für den Bestand (Endbestand, Mittlerer Bestand).

4. Befüll-Emissionsfaktor. Beim inl. Befüllen wird der verwendete Emissionsfaktor von 2 Gramm pro System als Minimum angesehen. Die Schwankung geht nur nach oben, bis 3 Gramm, und wird daher mit der UN + 0,5 quantifiziert. Die UN + 0,5/- 0,0 stellt asymmetrische Verteilung dar. Für die UN der Befüllemissionen muss zusätzlich die UN des Verbrauchs (= UN des Neuzugangs) berücksichtigt werden.
5. Bestandsemissionsfaktor. Die UN des Bestandsemissionsfaktors wird mit 0,1 angenommen, weil er zwischen 2,3 und 2,7% (Zentrum: 2,5%) schwankt, was die befragten Experten schon 2003 als realen Spielraum angaben.
6. Entsorgungsmenge. Wegen der Ungenauigkeit der Lebensdauer (ZSE: 15 Jahre) und damit des Entsorgungszeitpunkts (im ZSE ab 2010) wird für die Entsorgungsmenge eines bestimmten Jahres pauschal die UN 0,1 angenommen. Diese ist im ZSE bei allen Kältemittelanwendungen gleich.
7. Emissionsfaktor der Entsorgung. Die UN des im ZSE allgemein angewandten Emissionsfaktors von 30% beträgt 0,2, wie bei allen Kältemittelanwendungen.

2. Stationäre Klimaanlage

In dieser Anwendung sind die Unsicherheiten relativ hoch, weil mangels zugänglicher Statistiken für die Stückzahlen auf Schätzungen des Marktes und seiner Segmente zurückgegriffen werden muss.

1. Die Stückzahlen jährlich neu installierter Klimaanlage, die mit Turboverdichtern, Schrauben- oder Scroll-/Kolbenkompressoren laufen, werden durch Befragungen von Experten ermittelt, die untereinander Abweichungen um bis zu 10% aufweisen, Daraus leiten wir die UN von 0,1 ab.

Diese Unsicherheit der Stückzahl gilt auch für die zwischen 1995 und 1998 vorgenommenen Umrüstungen von Turboverdichter-Anlagen von R-12 auf R-134a.

2. Kältemittelsplit. Im Kältemittelmodell des ZSE folgt auf die Stückzahlen die Zusammensetzung der in den drei Marktsegmenten verwendeten Kältemittel. Allgemein schätzen wir die Unsicherheiten der Kältemittelanteile auf 0,05.

Ausnahme sind Turboverdichter, die wegen ausschließlichen Betriebs mit 134a keine Unsicherheit des Kältemittelsplits haben. Weitere derartige Ausnahmen sind die beiden anderen Segmente in den Jahren 1995 bis 1997, als auch dort 134a noch das einzige HFKW-Kältemittel war.

3. Füllmengen. Die auf Expertenbefragung beruhenden segmentspezifischen mittleren Füllmengen wurden bisher stets mehr oder weniger bestätigt – zuletzt von den Experten von Carrier, Trane und Clivet. Die UN wird für alle drei Füllmengen auf 0,05 geschätzt.

4. Verbrauch. Mangels relevanten Außenhandels mit befüllten Klimasystemen können incl. Neuzugang und incl. Verbrauch und damit ihre UN gleichgesetzt werden.

Die berechnete Gesamt-Unsicherheit der Aktivitätsraten Neuzugang und Verbrauch ist bei Turboverdichtern 0,1118 (0,1; 0,05). Bei den anderen Verdichtern ist sie seit 1998 höher, und zwar 0,1225 (0,1; 0,05; 0,05).

5. Der Emissionsfaktor des Bestands ist generell 6 %. Diese Höhe gründet auf Expertenschätzung (vgl. Öko-Recherche 2004, S. 42). Die aus der Expertenschätzung ableitbare UN liegt bei 0,1.

Die berechnete Gesamt-Unsicherheit der Bestandsemissionen ist bei Turboverdichtern 0,15 (0,1; 0,05; 0,1). Bei Schrauben- und Kolben-/Scroll-Verdichtern ist sie seit 1998 höher, und zwar 0,1581 (0,1; 0,05; 0,05; 0,1).

6. Der Befüll-Emissionsfaktor ist kein Prozentsatz, sondern ein fixer Wert von 20 g pro Neuanlage. Er wird als Minimum betrachtet, so dass keine UN nach unten angenommen wird. Nach oben wird ein Spielraum bis 30 g angenommen, so dass die UN asymmetrisch ist und + 0,5/- 0,0 beträgt.

7. Entsorgungsmenge. Wegen der Unsicherheit der Lebensdauer (ZSE: 25, 20, 12 Jahre) und damit des Entsorgungszeitpunkts (im ZSE ab 2005 für umgerüstete Turbos) wird für die Entsorgungsmenge eines bestimmten Jahres pauschal die UN 0,1 angenommen. Diese ist im ZSE bei allen Kältemittelanwendungen gleich.

8. Emissionsfaktors der Entsorgung. Die UN des im ZSE allgemein angewandten Emissionsfaktors von 30% beträgt 0,2, wie bei allen Kältemittelanwendungen.

Die berechnete Gesamt-Unsicherheit der Entsorgungsemissionen ist bei Turboverdichtern 0,25 (0,1; 0,05; 0,1; 0,2). Bei Schrauben- und Kolben-/Scroll-Verdichtern ist sie seit 1998 höher, und zwar 0,255 (0,1; 0,05; 0,05; 0,1; 0,2).

3. Raumklimageräte

1. Stückzahl. In Deutschland werden keine Raumklimageräte produziert und auch nicht befüllt⁷. Informationen über die Verkaufszahlen der importierten Geräte insgesamt sowie nach den drei Typen Mobil, Split und Multi-Split werden jährlich zwischen den inl. Anbietern ausgetauscht. Diese Zahlen werden zwar nicht veröffentlicht, aber mit Ab- und Aufrundungen für das ZSE zur Verfügung gestellt. Sie sind daher relativ verlässlich, so dass die UN mit 0,06 ausreichend hoch bestimmt ist.

2. Der Kältemittelsplit ist erst seit 2000 relevant, als zu dem bis dato einzigen HFKW-Kältemittel 407C noch 410A dazukam, das inzwischen den Markt dominiert. Für die Jahre vor 2000 (1998 und 1999) ist für 407C keine UN anzusetzen. Ab 2000 wird im Kältemittelmodell des ZSE sowohl für 407C als auch 410A die UN 0,07 verwendet.

3. Die Füllmengen der drei Raumklima-Bauarten betragen im ZSE 1 kg bei Mobil, 1,55 kg bei Split und 6,2 kg bei Multi-Split. Sie wurden zuletzt 2005/2006 von führenden Branchenexperten bestätigt (u. a. von Daikin, Polenz). Die UN der Füllmengen wird dennoch mit 0,05 beziffert, da auch Branchenexperten keine exakten Daten haben, sondern auf Schätzungen angewiesen sind.

Die berechnete Gesamtunsicherheit der Aktivitätsrate Neuzugang vor 2000 ist 0,08 (0,06; 0,05), ab 2000 beträgt sie 0,105 (0,06; 0,07; 0,05).

4. Der Bestands-Emissionsfaktor in Höhe von 2,5% im ZSE ist ein aus Aussagen verschiedener Branchenexperten gewonnener Sammelwert für alle drei Typen von Raumklimageräten. Seine Unsicherheit wird mit 0,1 bestimmt.

5. Entsorgungsmenge. Wegen der Unsicherheit der Lebensdauer (ZSE: 10 Jahre) und damit des Entsorgungszeitpunkts (im ZSE ab 2008) wird für die Entsorgungsmenge eines bestimmten Jahres pauschal die UN 0,1 angenommen.

6. Emissionsfaktor der Entsorgung. Die UN des im ZSE allgemein angewandten Emissionsfaktors von 30% beträgt 0,2, wie bei allen Kältemittelanwendungen.

4. Industriekälte

Weil das ZSE für die Industriekälte die gleiche Methode der Datenermittlung anwendet wie für die Gewerbekälte, wird die nachfolgende Unsicherheitsbestimmung für beide Hauptsektoren der stationären Kältetechnik gemeinsam vorgenommen.

5. Gewerbekälte

Die Ausgangsgrößen zur Bestimmung des jährlichen Neuzugangs/Verbrauchs sind in der Industrie- und Gewerbekälte mit höheren Unsicherheiten behaftet als anderswo. Anlagenstückzahl, spezifische Füllmengen, Kältemittelsplit werden im ZSE nämlich nicht jährlich ermittelt, sondern werden errechnet aus Stückzahlen, Füllmengen und Kältemittelverteilung im prognostizierten Zielbestand, der seinerseits durch die mittlere Lebensdauer in Jahren dividiert wird (ZSE-Kältemittelmodell). Auch wenn die

⁷ Das ZSE sieht ab von der Befüllung der bei der Installation vor Ort verlegten Leitungen. Die dabei entstehenden Emissionen werden zu den Bestandsemissionen gezählt.

sektoralen Zielbestände eine relativ robuste Datengrundlage in einer grundlegenden DKV-Studie aus dem Jahr 2002⁸ haben, ist nicht nur die Datenunsicherheit dieser Studie, sondern vor allem die Unsicherheit, die aus der jährlichen Verbrauchsberechnung mit Hilfe der Lebensdauer entsteht, zu beachten.

Zwar berücksichtigt die Zeitreihe im ZSE die sektoral unterschiedliche Dynamik des R-22-Ersatzes, aber die jährlichen Marktschwankungen werden nicht erfasst. Dies bleibt künftiger statistischer Verfeinerung vorbehalten. Diese erwarten wir mittelfristig aus der durch die EU-F-GaseVO vorgeschriebenen Aufzeichnungspflicht und insbesondere aus der Erfassung der deutschen Anlagendaten in den neuen Datenbanksystemen zur Kältemittel-Verwaltung (VDKF-LEC, Ecoklima).

1. Anlagenstückzahl. Nach unserer Einschätzung liegt die Unsicherheit der jährlichen Anlagenstückzahlen der einzelnen Sektoren zwischen 15 und 20%; unsere Annahme: $\sim 0,175$. Das betrifft in der Industriekälte die Aufteilung in Nahrungsmittel- und sonstige Industrie und in deren Untersektoren (Brauereien usw.). In der Gewerbekälte betrifft es die Aufteilung der Anlagen in die Kategorien Normalkühlung – Tiefkühlung, Lebensmittelhandel – sonstige Gewerbekälte, und Einzelgeräte – Verflüssigungssätze – Zentralanlagen.

2. Füllmengen. Die Unsicherheit der anlagenspezifischen Füllmengen ist geringer als diejenige der Stückzahlen, weil sie nicht den gleichen jährlichen Schwankungen unterliegt; unsere Annahme: 0,07.

3. Kältemittelsplit. Auch die Kältemittelverteilung, insbes. zwischen 134a, 404A, 407C, ist stabiler als die Anlagenzahl. Wir sind der Auffassung, dass die Unsicherheit in der gleichen Größenordnung wie diejenige der Füllmengen liegt; Annahme: 0,07.

Verbrauch/Neuzugang. Aus den vorstehenden Unsicherheiten resultiert eine kombinierte Unsicherheit des jährlichen HFKW-Verbrauchs/-Neuzugangs von 0,2. Wir halten diesen Wert für realistisch, weil wir ihn einer gewissen empirischen Überprüfung unterziehen können. Wir fragen alljährlich bei den vier maßgeblichen Unternehmen der Chemischen Industrie den inländischen Absatz der Hauptkältemittel (Neuproduktion) ab. Die zusammengefassten Kältemittelverkäufe in die Gewerbekälte und Industriekälte (Befüllung von Neuanlagen und Nachfüllung zum Emissionsausgleich) weichen für 134a, 404A und 407C um nicht mehr als 20% ab – sowohl untereinander als auch, was wichtiger ist, von den Werten, die sich aus dem ZSE-Kältemittelmodell errechnen und addieren lassen.

4. Bestands-Emissionsfaktor. Die UN von Jahresendbestand und mittlerem Bestand ist identisch mit derjenigen des Neuzugangs, weil im ZSE der Bestand aus akkumulierten Neuzugängen besteht. Für die Bestandsemissionsfaktoren sind allerdings besondere Unsicherheitsbestimmungen erforderlich. Nach unserer Schätzung beträgt die UN für den allgemeinen Emissionsfaktor der Industriekälte (7%) und für alle drei typischen Emissionsfaktoren der Gewerbekälte (1,5% Einzelgeräte, 5% Verflüssigungssätze, 10% Zentralanlagen) gleichermaßen etwas weniger als 15%; unsere Annahme: 0,14). Daraus errechnet sich für die Bestandsemissionen selbst eine kombinierte UN von knapp unterhalb 0,25 (0,2;

⁸ DKV, Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte, Statusbericht des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins Nr. 22, Juni 2002.

0,14). Wir erwarten auch für die Emissionsfaktoren eine signifikante Reduzierung der Unsicherheiten aus den neuen Datenbank-basierten Monitoringsystemen.

5. Befüll-Emissionsfaktor. Dieser beträgt im ZSE für die Industriekälte 0,15% und die Gewerbekälte 0,2% und bezieht sich auf den Neuzugang bzw. Verbrauch. Die beiden letzteren Größen werden größengleich aufgefasst, weil bei stationären Kälteanlagen vom Außenhandel abgesehen werden kann.

Der Wert von 0,2% der Gewerbekälte hat zur Grundlage einen absoluten Befüllverlust von 5 - 10 Gramm pro Neuanlage (eine gasförmige Schlauchfüllung); das bedeutet relativ eine Spanne von 0,1 bis 0,3%. Die UN wird mit 0,5 quantifiziert.

Für die Industriekälte wird ein etwas geringerer relativer Befüllverlust als in der Gewerbekälte angenommen, nämlich 0,15%, weil die Anlagen größer sind. Die Unsicherheit wird auch hier mit 0,5 angenommen.

6. Entsorgungsmenge. Wegen der Unsicherheit der Lebensdauer (ZSE: 10 Jahre) und damit des Entsorgungszeitpunkts (im ZSE ab 2003) wird für die eines bestimmten Jahres pauschal die UN 0,1 angenommen. Diese ist im ZSE bei allen Kältemittelanwendungen gleich.

7. Emissionsfaktor der Entsorgung. Die UN des im ZSE allgemein angewandten Emissionsfaktors von 30% beträgt 0,2, wie bei allen Kältemittelanwendungen.

Anmerkung zu Altanlagen der Gewerbekälte

Für Altanlagen, die von FCKW und HFCKW auf reine HFKW oder HFKW-Gemische mit und ohne FKW-Anteile umgestellt wurden, gelten die gleichen Unsicherheiten wie für die oben betrachteten Neuanlagen.

6. Kühlcontainer

Alle Kühlcontainer werden im Ausland produziert und befüllt, so dass weder inl. Verbrauch noch Befüllemissionen zu berücksichtigen sind.

1. Die Stückzahl der jährlich weltweit in Dienst genommenen Einheiten wird jährlich vom Branchen-Informationsdienst World Cargo News publiziert. Aufgrund der dort vorhandenen Sachkenntnis kann die Zahl der neuen Einheiten pro Jahr als verlässlich gelten. Unsicherheiten resultieren aus der vorgenommenen Rundung auf die nächsten 5000 Stück, wofür wir eine UN von 0,03 in Rechnung stellen.

2. Kältemittelsplit. Seit 1997 wird außer HFKW-134a auch 404A benutzt. Seitdem ist ein Kältemittelsplit zu beachten. Die UN der Anteile gegeneinander ist 0,05, eine Größenordnung, welche die Experten der Reederei Hapag-Lloyd angeben.

3. Füllmengen. Die Standardisierung der Container führt zu homogenen Kältemittelfüllungen zwischen 4 und 6 kg. Allerdings brauchen Geräte mit 404A und Scroll- statt Kolbenverdichtern weniger. Darum veranschlagen wir für die mittlere Füllmenge eine UN von 0,06.

4. Der deutsche HFKW-Neuzugang in Höhe von 10% des weltweiten Neuzugangs basiert auf der Hilfskonstruktion des zehnpromigen deutschen Anteils am Welthandel. Dessen Schwankung wird mit einer UN von weiteren $\pm 0,08$ bewertet.

Die kombinierte Gesamtunsicherheit der Aktivitätsrate Neuzugang beträgt ca. 0,116 (0,03; 0,05; 0,06; 0,08). Diese gilt auch für den Bestand.

5. Der Bestandemissionsfaktor von 10% folgt UNEP-RTOC⁹ von 2003. Wir nehmen dafür eine UN von 0,1 an.

Die Unsicherheit der Bestandemissionen liegt bei 0,153 (0,116; 0,1)

6. Entsorgungsmenge. Wegen der UN der Lebensdauer (ZSE: 14 Jahre) und damit des Entsorgungszeitpunkts (im ZSE ab 2007) wird für die Entsorgungsmenge eines bestimmten Jahres pauschal die Unsicherheit 0,1 angenommen.

7. Emissionsfaktor der Entsorgung. Die UN des im ZSE allgemein angewandten Emissionsfaktors von 30% beträgt 0,2 wie bei allen Kältemittelanwendungen.

7. Kühlfahrzeuge

Vorbemerkung zu Straßenfahrzeugen. Kühlfahrzeuge sind Straßenfahrzeuge und damit mobil. Daher ist bei ihnen die gleiche Besonderheit zu beachten wie bei den Klimaanlage von Pkw, Lkw und Bussen (siehe nächstes Kapitel). Diese besteht darin, dass der Fahrzeugbestand in der Zeit seit Erstzulassung signifikant zurückgeht infolge umfangreichen Gebrauchswagenexports vor allem in östliche geographische Regionen. Die Gleichsetzung von Bestand und Summe der Neuzugänge (abzgl. Abgänge durch Entsorgung), die bei stationären Kälte-Klimasystemen berechtigt ist, kann bei mobilen Systemen (Straßenfahrzeuge) nicht ganz aufrechterhalten werden. Eine Lösung ist aber dadurch möglich, dass das Kraftfahrtbundesamt jährlich exakte Statistiken über die Altersstruktur der Straßenfahrzeuge bereitstellt. Mit ihrer Hilfe können der Unsicherheitsbestimmung echte Bestandszahlen zu Grunde gelegt werden. Zu Details siehe unten, Absatz 7 (Bestand).

1. Stückzahl. Die jährlichen Neuzulassungen werden vom Kraftfahrtbundesamt (KBA) sowohl insgesamt als auch gegliedert nach Größenklassen (zul. GG) statistisch erfasst und publiziert. Die Daten können als genau und vollständig gelten, so dass dafür keine Unsicherheit (UN 0,0) angesetzt wird.

2. Kältemittelsplit. Im Kältemittelmodell des ZSE folgt auf die Stückzahlen in den vier Größenklassen die Zusammensetzung der dort eingesetzten Kältemittel 404A, 134a und 410A. Bei den befragten Experten schwanken die Anteile der Kältemittel untereinander in jeder Gewichtsklasse um bis zu 10%. Darum quantifizieren wir alle gegenseitigen Unsicherheiten mit 0,1.

3. Füllmengen. Die spez. Füllmengen der Kälteaggregate variieren mit den Größenklassen der Fahrzeuge. Das ZSE enthält für jede der vier Klassen mittlere

⁹ UNEP, 2002 REPORT OF THE REFRIGERATION, AIR CONDITIONING AND HEAT PUMPS TECHNICAL OPTIONS COMMITTEE 2002 ASSESSMENT, Nairobi, January 2003, p. 92.

Füllmengen, die nach Expertenbefragung bestimmt wurden. Als Durchschnittswerte weisen sie eine Streuung auf, der hier mit der UN 0,1 Rechnung getragen wird.

Die berechnete Gesamt-UN des Neuzugangs beträgt für 404A, 410A und 134a je 0,141 (0,1 für den Kältemittelsplit und 0,1 für die Füllmengen).

4. Umrüstung. In den Jahren 1996 bis 1999 wurde eine gewisse Zahl von Fahrzeugen mit R-12 und R-502 auf FCKW-freie Kältemittel umgestellt. Die Haupt-Servicekältemittel waren die Mischungen 413A und 401B, die an chlorfreien F-Gasen neben 134a noch HFKW-152a und FKW-218 enthielten. Die UN der eingesetzten Menge (Neuzugang 1996-1999) wird im ZSE pauschal auf 0,141 geschätzt.

5. Verbrauch. Der inländische HFKW-Verbrauch ist geringer als der HFKW-Neuzugang, weil die mit 404A befüllten Neuanlagen zu etwa 60% importiert werden. Die Unsicherheit ist jedoch dieselbe wie beim Neuzugang: 0,141.

6. Befüll-Emissionsfaktor. Dieser ist kein Prozentsatz des inl. Verbrauchs, sondern ein fester Wert von 5 Gramm Verlust pro befüllter Kälteanlage. Die fünf Gramm gelten als Minimum. Die Unsicherheit hat asymmetrische Verteilung: + 0,5/- 0,0.

7. Bestand. Der Bestand ist - wie bei allen Kältemittelanwendungen im ZSE - mengenmäßig nur die Akkumulation der jährlichen Neuzugänge (abzgl. Abgänge wg. Entsorgung). Darum weist der Bestand keine neue Unsicherheit auf. Wie eingangs bemerkt, geht bei Straßenfahrzeugen der Bestand während der Lebensdauer signifikant zurück. Die ZSE-Eingabewerte des Bestands berücksichtigen diesen Umstand nicht. Allerdings kann dem vorzeitigen Bestandsschwund zumindest die Unsicherheitsbestimmung Rechnung tragen, indem sie für den Bestand einen zusätzlichen Unsicherheitsbereich festlegt. Dieser verläuft asymmetrisch, weil die Änderung nur in eine Richtung - nach unten - erfolgt, während die UN nach oben durch diejenige des Neuzugangs bereits ausreichend bestimmt ist.

Besondere Unsicherheitsbestimmung bei Straßenfahrzeugen

Die besondere Unsicherheitsbestimmung des Bestands kann sich auf statistisches Material stützen. Das KBA veröffentlicht jährlich die Alterszusammensetzung der Fahrzeuge im Bestand jedes Meldejahrs. Für jedes Berichtsjahr kann daher festgestellt werden, wie viele der seit 1993 (erstes Jahr mit HFKW-Kältemittel) neu zugelassenen Fahrzeuge noch im Bestand sind. Daraus errechnet sich für jedes Berichtsjahr ein Prozentsatz, der die Relation der noch im Bestand befindlichen Fahrzeuge seit 1993 zu den seit 1993 effektiv zugelassenen Fahrzeugen ausdrückt. Beispielsweise waren laut KBA im Jahr 2001 noch 90% der seit 1993 zugelassenen Fahrzeuge auf der Straße. Laut ZSE waren aber noch 100% im Bestand, da Abgang durch Entsorgung erst ab 2003 (Lebensdauer 10 Jahre) vorkommt und andere Formen des Abgangs nicht berücksichtigt werden. Sobald im ZSE Entsorgung vorkommt, wird die Differenz zur KBA-Zahl wieder geringer. So sind z. B. 2005 laut KBA noch 76% der Fahrzeuge seit 1993 da, während das ZSE für dasselbe Jahr, als bereits drei volle Jahrgänge entsorgt sind, einen Bestand von 84% aufweist¹⁰.

¹⁰ Hier zeigt sich, wie wichtig eine richtige Bestimmung der Lebensdauer ist. Wenn sie zu lang berechnet wird, wird die Differenz zwischen ZSE-Bestand und KBA-Bestand unangemessen groß.

Mit der Hilfe der KBA-Werte können wir so die Unsicherheiten der ZSE-Werte bestimmen. Die (durchweg höheren) ZSE-Daten selber werden weiterhin für die Berechnung der Emissionen verwendet, weil das KBA nur die Zulassungen insgesamt erfasst, nicht aber die Zulassungen der klimatisierten Fahrzeuge.

Der Umfang der besonderen Bestandsunsicherheit ist die für jedes Berichtsjahr spezifische prozentuale Differenz zwischen Bestandszahl des KBA und des ZSE. Sie verläuft im Falle von Kühlfahrzeugen von 0% im Berichtsjahr 1993 bis zum Spitzenwert 14% im Berichtsjahr 2003 und beträgt im Jahr 2006 noch 2,3% (0,023).

Datentabelle und entsprechende Grafik finden sich im Anhang zu dieser Studie.

8. Emissionsfaktor des Bestands. Die Emissionsfaktoren in Höhe von 15% für Neufahrzeuge und von 25% für Altfahrzeuge (Umrüstungen) weisen generell die UN 0,1 auf. Diese deckt die Breite der von Branchenexperten geschätzten Werte ab.

9. Bestandsemissionen. Aufgrund des asymmetrischen Unsicherheitsverlaufs des Bestands unterscheiden sich auch die Bestandsemissionen in ihren Unsicherheiten nach oben und unten. Die UN nach oben errechnet sich aus der Kombination der UN des Neuzugangs mit derjenigen des Emissionsfaktors: 0,173 (0,0141; 0,1). Die UN nach unten berücksichtigt außerdem für jedes Jahr die prozentuale Differenz zwischen KBA- und ZSE-Bestand. *Beispielsweise beträgt diese 7,7% im Jahr 2005. Die UN der Bestandsemissionen ist dann 0,190 (0,141; 0,1; 0,077).*

10. Entsorgungsmenge. Wegen der Unsicherheit der Lebensdauer (ZSE: 10 Jahre) und damit des Entsorgungszeitpunkts (im ZSE ab 2003) wird für die Entsorgungsmenge eines bestimmten Jahres pauschal die UN 0,1 angenommen. Diese ist im ZSE bei allen Kältemittelanwendungen gleich. Zu beachten ist, dass sich diese neue Unsicherheit nicht auf den Bestand bezieht, sondern auf den Neuzugang (genauer: den Neuzugang vor zehn Jahren). Sie ist daher symmetrisch.

11. Emissionsfaktor der Entsorgung. Die UN des im ZSE allgemein angewandten Emissionsfaktors von 30% beträgt 0,2, wie bei allen Kältemittelanwendungen.

II. Geschlossene Systeme mit zusammengesetzter Aktivitätsrate II

Charakteristik. Die zweite Gruppe mit der zusammengesetzten Aktivitätsrate "Neuzugang" wird von den sechs Sektoren des Bereichs Mobilklima gebildet.

Die Berechnung des Neuzugangs erfolgt im Dreischritt "Stückzahl – Klimaquote – Füllmengen". Die Methode ist dieselbe wie bei der ersten Gruppe, lediglich der zweite Schritt ist nicht der Kältemittelsplit (Kältemittel ist immer R-134a), sondern die Klimaquote. Die Unsicherheit des Neuzugangs ist auch hier die Kombination der Unsicherheiten von Stückzahlen, Klimaquoten und Füllmengen.

Generell ist die Datensicherheit höher als in der Gruppe der Kälte- und stationären Klimaanlageanlagen. Die Stückzahlen entstammen amtlichen Statistiken. Auch Klimaquoten und Füllmengen weisen relativ geringe Unsicherheiten auf, weil die Daten infolge hoher Sektor-Homogenität durch Erhebungen zu ermitteln sind und damit weniger von Expertenurteilen abhängen.

Sowohl Bestand als auch Entsorgungsmenge sind aus dem Neuzugang abgeleitet; darum sind die Unsicherheiten aller drei Aktivitätsraten gleich.

Bei beweglichen Systemen (Fahrzeugen) spielt der Außenhandel eine große Rolle, so dass Neuzugang und inländischer Verbrauch nicht übereinstimmen; darum sind auch ihre Unsicherheiten verschieden. Bei Straßenfahrzeugen (Pkw, Lkw, Busse) ist eine weitere, sehr wichtige Besonderheit infolge des Außenhandels zu beachten: Der große Umfang des Exports gebrauchter Fahrzeuge führt zu einem signifikanten Bestandsschwund, der in der Unsicherheitsbestimmung zu berücksichtigen ist.

Tab. 2 Quantifizierte Unsicherheiten von Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren, Emissionen – Geschlossene Systeme mit zusammengesetzter Aktivitätsrate II

	Pkw	Nfz	Bus	Landmasch	Schiene	Schiffe
Stückzahl	± 0,005	± 0	± 0	± 0,01	± 0,04	± 0,1
AC-Quote	± 0,01	± 0,05	± 0,05	± 0,05	± 0	± 0
Füllmenge	± 0,01	± 0,05	± 0,05	± 0,06	± 0,03	± 0,06
Neuzugang	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.
Verbrauch	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.
Bestand	= Neuz.*	= Neuz.*	= Neuz.*	= Neuz.	= Neuz.	= Neuz.
EntsMenge	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1
EF _{Bestand}	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,15	± 0,1	± 0,2
EF _{Befüllung}	+ 0,3/- 0	± 0,2	± ,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2
EF _{Entsorg}	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2
Emissionen	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.

* Die UN des Bestands ist bei Straßenfahrzeugen nur "nach oben" gleich derjenigen des Neuzugangs. Nach unten schließt sie zusätzlich die prozentuale Differenz zwischen den Bestandszahlen des ZSE und KBA ein. Außerdem ist zu beachten, dass hier Stückzahlen und AC-Quoten für den Verbrauch andere sind als die Stückzahlen des Neuzugangs.

Nach oben ist die Unsicherheit des Bestands zwar weiterhin durch die Unsicherheit des Neuzugangs (siehe oben) definiert. Nach unten jedoch muss die Unsicherheit in Rechnung gestellt werden, die aus der Differenz zwischen dem aus Neuzugängen

gebildeten Bestand des ZSE und dem wirklichen Bestand resultiert, der vom Kraftfahrtbundesamt (KBA) jährlich berichtet wird. (Diese Unsicherheitsbestimmung wird in der ersten Gruppe auch schon für Kühlfahrzeuge vorgenommen).

Wie in der ersten Gruppe werden auch bei Mobilklimaanlagen für alle drei Typen von Emissionsfaktoren spezifische Unsicherheitswerte bestimmt. Daraus wiederum resultieren die Unsicherheiten der drei Formen von Emissionen.

8. Pkw-Klimaanlagen

1. Stückzahl. Die insgesamt neu zugelassenen Pkw (mit und ohne Klimaanlage) werden vom Kraftfahrtbundesamt (KBA) laufend nach Marken und Modellen statistisch erfasst und jährlich (für das Vorjahr) publiziert. Die Unsicherheit der Daten ist sehr gering; sie wird von uns mit 0,5% (0,005) bewertet, da es wegen so genannter Tageszulassungen zu einer kleinen Differenz zwischen gemeldeten Neuzulassungen und wirklich neu in Verkehr gebrachten Fahrzeugen kommt.
2. Klimaquote der Neuzulassungen. Mit einer jährlichen Befragung aller inländischen Hersteller und derjenigen ausl. Hersteller, die 90% der importierten Neufahrzeuge liefern, erfasst Öko-Recherche die Ausrüstungsquote der gesamten Neuzulassungen sehr präzise. Wegen Ungenauigkeiten der Herstellerangaben und der jährlich zehn Prozent der Importfahrzeuge, die nur hochgerechnet werden, beziffern wir die Unsicherheit der Quote auf etwa 1% (0,01).
3. Füllmenge. Die gleiche Unsicherheit von 0,01 wird für die mittlere Füllmenge angenommen, weil diese auf derselben jährlichen Befragung wie die Ausrüstungsquote beruht.
4. Bestand. Die Unsicherheit des jährlichen HFKW-134a-Zugangs errechnet sich aus den drei vorstehenden Werten und beträgt 0,015. Dieser Wert gilt auch für den Bestand (EB, MB), allerdings nur nach oben, weil der Bestand seine Obergrenze in den bis zum Berichtsjahr akkumulierten Neuzugängen hat. Die Unsicherheits-Bestimmung des Bestands ist asymmetrisch, weil sie nach unten dem vorzeitigen Bestandsschwund durch Gebrauchwagenexport und – zu kleinem Teil – Unfälle Rechnung tragen muss. Hierzu gehen wir grundsätzlich wie beim Bestandsschwund der Kühlfahrzeuge vor (Details zum Ansatz siehe dort). Das bedeutet, dass in jedem Berichtsjahr der Umfang der Bestandsunsicherheit die für jedes Berichtsjahr spezifische prozentuale Differenz zwischen Bestandszahl des KBA und des ZSE ist. Sie verläuft im Falle von Pkw von 0% im ersten Berichtsjahr 1992 bis zum Spitzenwert 8,5% im Berichtsjahr 2005 und beträgt im Jahr 2006 noch 8,4% (0,084).

Datentabelle und entsprechende Grafik finden sich im Anhang zu dieser Studie.

5. Bestands-Emissionsfaktor. Der Emissionsfaktor in Höhe von 10% gründet auf empirischen Studien (u. a. Öko-Recherche 2001 u. 2003). Die statistische Unsicherheit des Mittelwerts der laufenden Leckagen (aus unbeschädigten Anlagen) beträgt dort 8,8% (2 SE), bei einem Vertrauensintervall von 95% ($2 \text{ SE} = 2 \times \text{Standardabweichung} / \sqrt{n}$). Die hier verwendeten 10% (0,1) berücksichtigen zusätzliche Unsicherheiten, die vor allem aus Emissionen von beschädigten Anlagen resultieren.

6. Bestandsemissionen. Aufgrund des asymmetrischen Unsicherheitsverlaufs des Bestands unterscheiden sich Bestandsemissionen in der UN nach oben und unten. Die berechnete UN nach oben ist die Kombination der Unsicherheit des Neuzugangs mit derjenigen des Emissionsfaktors: 0,101 (0,015; 0,1). Die Unsicherheit nach unten berücksichtigt außerdem für jedes Jahr die prozentuale Differenz zwischen KBA- und ZSE-Bestand. *Beispielsweise beträgt diese 8,5% (0,085) im Jahr 2005. Die Unsicherheit der Bestandsemissionen ist dann 0,132 (0,015; 0,1; 0,085).*

7. Verbrauch. Die Unsicherheit des jährlichen Neuverbrauchs zur Befüllung von im Inland gefertigten Fahrzeugen (Stückzahl x Klimaquote x Füllmenge) ist etwas höher als diejenige des Neuzugangs. Für die Stückzahlen besteht keine Unsicherheit, weil die Fahrzeuge der dt. Hersteller exakt dokumentiert werden (VDA-Statistik). Die Klimaquote der inländischen Fertigungen ist dagegen etwas unsicherer als diejenige der Neuzulassungen, weil die Quote der inländischen Neuzulassungen der deutschen Hersteller auf die Quote ihrer im Inland hergestellten Neufahrzeuge übertragen wird (sie wird nicht direkt als solche abgefragt, ist aber weitgehend deckungsgleich). Dafür wird eine Unsicherheit von 0,03 angenommen. Auch die Füllmengen werden von den Neuzulassungen auf die neuen Herstellungen übertragen. Ihre Unsicherheit ist die gleiche wie diejenige der Füllmengen der Neuzulassungen, weil sich die Herstellerangaben auf Modelle beziehen, unabhängig von inl. oder ausl. Verwendung (0,01). Die Kombination der beiden Werte ergibt eine berechnete Unsicherheit von 0,032 für den inländischen HFKW-134a-Verbrauch.

In Öko-Recherche 2004 wurde die Differenz zwischen der Berechnung des Verbrauchs (Stückzahl x Klimaquote x Füllmenge) und der realen Einkaufsmenge der sieben deutschen Hersteller für 2002 untersucht (Seite 90/91). Die Abweichung beider Werte voneinander war gering und betrug 23 t von 3.440 t (0,66%).

8. Befüll-Emissionsfaktor. Er ist kein Prozentwert des Verbrauchs, sondern eine feste Größe von 2 Gramm pro Anlage. Sie ist ein Mindestwert, so dass die Unsicherheit asymmetrisch verläuft. Die spezifische Unsicherheit des Emissionsfaktors nach oben wird von uns mit 0,3 bestimmt. Zu beachten ist, dass sich der Faktor auf die jährliche Stückzahl (Unsicherheit 0,005) bezieht, nicht auf den Neuverbrauch (0,032).

9. Entsorgungsmenge. Wegen der UN der Lebensdauer (ZSE: 12 Jahre) und damit des Entsorgungszeitpunkts (im ZSE ab 2002) wird für die Entsorgungsmenge eines bestimmten Jahres pauschal die spezifische Unsicherheit 0,1 angenommen (kombin. Unsicherheit 0,101). Die spezifische Unsicherheit der Entsorgungsmenge ist im ZSE bei allen Kältemittelanwendungen gleich. Zu beachten ist, dass sich diese neue Unsicherheit nicht auf den Bestand bezieht, sondern auf den Neuzugang (genauer: den Neuzugang vor zwölf Jahren). Sie ist daher symmetrisch.

10. Die Unsicherheit des im ZSE allgemein angewandten Emissionsfaktors der Entsorgung von 30% beträgt 0,2, wie bei allen Kältemittelanwendungen im ZSE.

9. Lkw-Klimaanlagen

1. Stückzahl. Die neu zugelassenen Lkw (mit und ohne Klimaanlage) werden vom Kraftfahrtbundesamt (KBA) nach Gewichtsklassen erfasst und jährlich (für das Vorjahr) publiziert. Die Unsicherheit dieser amtlichen Daten ist praktisch Null (0,0).

2. Klimaquote der Neuzulassungen. Diese wird nicht total erhoben, sondern es werden jährlich nur die Daten ausgewählter, nämlich Gewichtsklassen-typischer Fahrzeugmodelle gesammelt. Für Lkw > 7,5 t Nutzlast werden stellvertretend die Klimaanlagendaten des Modells Mercedes Actros benutzt, für die Gewichtsklasse 1,5 – 7,5 t die Daten des Mercedes Atego. Die Werte werden jährlich vom Hersteller erfragt und können als sicher gelten. Für Lkw der Gewichtsklasse < 1,5 t Nutzlast wird der gewichtete Mittelwert der Klimaquote folgender Fahrzeugmodelle verwendet: VW Transporter, VW LT, VW Caddy, Mercedes Sprinter, Mercedes Vito, Renault Master und Renault Kangoo. Auch diese von den Herstellern erfragten Daten sind sicher. Die UN entsteht durch die Hochrechnung der Klimaquoten der "typischen" Modelle auf die Gesamtheit der Lkw-Neuzulassungen. Wir beziffern sie auf 0,05.

3. Füllmenge. Die Unsicherheit von 0,05 wird auch für die mittlere Füllmenge der Neuzulassungen angenommen. Der Wert kommt auf die gleiche Weise wie die Klimaquote zustande, nämlich durch Abfrage der Daten typischer Fahrzeugmodelle der Marken Mercedes, VW und Renault (siehe Absatz vorher). Deren Daten werden auf alle Neuzulassungen übertragen.

4. Bestand. Die UN des jährlichen HFKW-134a-Zugangs errechnet sich aus den drei vorstehenden Werten und beträgt 0,071 (0,05; 0,05). Dieser Wert gilt auch für den Bestand (EB, MB), allerdings nur nach oben, weil der Bestand in den akkumulierten Neuzugängen seine Obergrenze hat. Die UN-Bestimmung des Bestands ist asymmetrisch, weil sie nach unten dem Bestandsschwund durch Gebrauchtwagenexport und – zu kleinem Teil – Unfälle Rechnung tragen muss. Hierzu gehen wir wie beim Bestandsschwund der Kühlfahrzeuge vor (Details siehe dort). Das bedeutet, dass in jedem Berichtsjahr die spezifische Bestands-UN die für das Berichtsjahr spezifische prozentuale Differenz zwischen Bestandszahl des KBA und des ZSE ist. Sie verläuft im Falle von Lkw von 0% im ersten Berichtsjahr 1993 bis zum Spitzenwert 12,0% (0,12) im Jahr 2004 und beträgt im Jahr 2006 noch 7,0% (0,07)

Datentabelle und entsprechende Grafik finden sich im Anhang zu dieser Studie.

5. Emissionsfaktor des Bestands. Der Emissionsfaktor in Höhe von 10% (0,1) geht auf eine empirische Studie (Öko-Recherche 2007a) zurück. Die statistische Unsicherheit (2 SE) des Mittelwerts der laufenden Leckagen aus unbeschädigten Anlagen beträgt dort exakt 10% bezogen auf 8,3% (0,83 zu 8,3%), bei einem Vertrauensintervall von 95%. Die 10% ($2 \times \text{Standardfehler} = 2 \times \text{Standardabweichung} / \sqrt{n}$) werden hier verwendet.

6. Bestandsemissionen. Aufgrund des asymmetrischen Unsicherheitsverlaufs des Bestands unterscheiden sich die UN nach oben und unten. Die berechnete UN nach oben ist die kombinierte UN des Neuzugangs und des Emissionsfaktors: 0,122 (0,071; 0,1). Die UN nach unten berücksichtigt außerdem für jedes Jahr die prozentuale Differenz zwischen KBA- und ZSE-Bestand. *Beispielsweise beträgt diese 9,7% im Jahr 2002. Die UN der Bestandsemissionen ist dann 0,156 (0,122; 0,097).*

7. Verbrauch. Die UN des jährlichen Neuverbrauchs zur Befüllung von im Inland gefertigten Fahrzeugen (Stückzahl x Klimaquote x Füllmenge) ist geringfügig höher als diejenige des Neuzugangs. Für Stückzahlen besteht keine UN, weil die Fahrzeuge der dt. Hersteller exakt dokumentiert werden (der VDA veröffentlicht jährlich diese Zahlen). Die Klimaquote der inländischen Fertigungen ist dagegen

etwas unsicherer als diejenige der Neuzulassungen, weil jene Quote nicht erhoben, sondern hilfsweise die Neuzulassungsquote der deutschen Hersteller (Renault wird hier weggelassen) verwendet wird, die nicht ganz deckungsgleich ist. Die UN wird mit 0,07 (Neuzulassungsquote: 0,05) bestimmt. Auch die Füllmengen werden von den Neuzulassungen typischer Modelle (hier nur die deutschen, ohne Renault) auf die neuen Herstellungen übertragen. Ihre UN ist die gleiche wie diejenige der Füllmengen der Neuzulassungen, weil sich die Herstellerangaben auf Modelle beziehen, unabhängig von inl. oder ausl. Verwendung (0,05). Die Kombination der beiden Werte ergibt eine berechnete UN von 0,086 für den inl. HFKW-134a-Verbrauch.

8. Befüll-Emissionsfaktor. Er beträgt 0,2 Prozent des Verbrauchs, was absolut etwa 2 Gramm pro neue Anlage (Pkw-Wert) sind. Die spezifische Unsicherheit des Emissionsfaktors wird von uns mit 0,2 beziffert. Kombiniert mit der Unsicherheit des Neuverbrauchs ergibt sich die Unsicherheit der Befüllemissionen in Höhe von 0,218.

9. Entsorgungsmenge. Wegen der UN der Lebensdauer (ZSE: 10 Jahre) und damit des Entsorgungszeitpunkts (im ZSE ab 2003) wird für die Entsorgungsmenge eines bestimmten Jahres pauschal die spezifische UN 0,1 angenommen (kombin. Unsicherheit 0,122). Die spezifische Unsicherheit der Entsorgungsmenge ist im ZSE bei allen Kältemittelanwendungen gleich. Zu beachten ist, dass sich diese neue Unsicherheit nicht auf den Bestand bezieht, sondern auf den Neuzugang (genauer: den Neuzugang vor zehn Jahren). Sie ist daher symmetrisch.

10. Die Unsicherheit des im ZSE allgemein angewandten Emissionsfaktors der Entsorgung von 30% beträgt 0,2, wie bei allen Kältemittelanwendungen im ZSE.

10. Bus-Klimaanlagen

1. Stückzahl. Die insgesamt neu zugelassenen Busse (mit und ohne Klimaanlage) werden vom Kraftfahrtbundesamt erfasst und jährlich (für das Vorjahr) publiziert. Die Unsicherheit dieser amtlichen Daten ist praktisch Null (0,0).

2. Klimaquote und Füllmenge. Die Klimaquoten sind unterschiedlich hoch bei Linienbussen, Überlandbussen und Reisebussen. Öko-Recherche bittet jährlich die Klimaanlage-Experten der beiden deutschen Hersteller mit zusammen über 80% Marktanteil (Jörg Kirsamer von NEOMAN Bus; Jan Wenzelburger von EVOBUS) um eine Einschätzung der drei sektoralen Klimaquoten sowie der durchschnittlichen sektoralen Füllmengen. Beide Experten haben jüngst die Unsicherheit ihrer Schätzungen sowohl für Klimaquoten als auch für Füllmengen übereinstimmend mit "etwa 5%" beziffert (gegenüber Öko-Recherche am 14. Juni 2006). Wir verwenden demzufolge im ZSE für die Klimaquoten 0,05 und zusätzlich für die Füllmengen 0,05. Daraus errechnet sich eine UN des Neuzugangs von 0,071 (0,05; 0,05).

3. Bestand. Die UN des jährlichen HFKW-134a-Zugangs von 0,071 gilt auch für den Bestand (EB, MB), allerdings nur nach oben, weil der Bestand in den akkumulierten Neuzugängen seine Obergrenze hat. Die Unsicherheitsbestimmung ist asymmetrisch, weil sie nach unten dem Bestandsschwund durch Gebrauchswagenexport Rechnung tragen muss. Hierzu gehen wir grundsätzlich wie bei den Kühlfahrzeugen vor (Details zum Ansatz siehe dort). Das bedeutet, dass in jedem Berichtsjahr die spezifische UN gleich der für jedes Berichtsjahr spezifischen prozentualen Differenz

zwischen Bestandszahl des KBA und des ZSE ist. Sie verläuft im Falle von Bussen von 0% im ersten Berichtsjahr 1993 bis zum Spitzenwert 11,3% (0,113) in 2005 und beträgt im Jahr 2006 noch 6,3% (0,063).

Datentabelle und entsprechende Grafik finden sich im Anhang zu dieser Studie.

4. Emissionsfaktor des Bestands. Der Emissionsfaktor in Höhe von 15% wurde durch eine Studie für die EU-Kommission (Öko-Recherche 2007b) bestätigt. Die jährliche Leckage bei neueren Linienbussen (in Betrieb seit 2000) liegt bei 13,7%, bei neuen und alten Reisebussen bei 15,2%. Die statistische Unsicherheit des Mittelwerts der Leckagen beträgt dort 10,3% (2 SE), bei einem Vertrauensintervall von 95%. Daraus leitet sich die Unsicherheit im ZSE von 10% (0,1) ab.

5. Bestandsemissionen. Aufgrund des asymmetrischen Unsicherheitsverlaufs des Bestands unterscheiden sich die Bestandsemissionen in der UN nach oben und unten. Die berechnete UN nach oben ist die Kombination der UN von Neuzugang und Emissionsfaktor: 0,122 (0,071; 0,1). Die UN nach unten berücksichtigt außerdem für jedes Jahr die prozentuale Differenz zwischen KBA- und ZSE-Bestand.

Beispielsweise beträgt diese 8,4% im Jahr 2005. Die UN der Bestandsemissionen ist dann 0,148 (0,122; 0,084).

7. Verbrauch. Die UN des jährlichen Neuverbrauchs zur Befüllung von im Inland gefertigten Fahrzeugen (Stückzahl x Klimaquote x Füllmenge) ist ein wenig höher als diejenige des Neuzugangs, weil die Werte für Klimaquote und Füllmenge bei den Neuzulassungen gewonnen und auf die Herstellung übertragen werden. Die Unsicherheiten betragen daher jeweils 0,06 gegenüber 0,05. Für Stückzahlen besteht keine Unsicherheit, weil die Fahrzeuge der dt. Hersteller präzise vom VDA dokumentiert und publiziert werden. Die Gesamt-UN des Verbrauchs ist 0,085.

8. Befüll-Emissionsfaktor. Eine feste Größe von 5 Gramm pro Anlage wird auf die Stückzahl der inl. Fertigungen bezogen. Wir beziffern die Unsicherheit mit 0,2. Da die Stückzahl selber keine Unsicherheit aufweist, ist die UN des Befüll-Emissionsfaktors zugleich die UN der Befüllemissionen.

9. Entsorgungsmenge. Wegen der UN der Lebensdauer (ZSE: 12 Jahre) und damit des Entsorgungszeitpunkts (im ZSE ab 2003 für Umrüstungen) wird für die Entsorgungsmenge eines bestimmten Jahres pauschal die spezifische UN 0,1 verwendet (kombin. UN hier 0,122). Die spezifische UN der Entsorgungsmenge ist im ZSE bei allen Kältemittelanwendungen gleich. Zu beachten ist, dass sich diese neue UN nicht auf den Bestand bezieht, sondern auf den Neuzugang (genauer: den Neuzugang vor zwölf Jahren). Sie ist symmetrisch.

10. Die Unsicherheit des im ZSE allgemein angewandten Emissionsfaktors der Entsorgung von 30% beträgt 0,2, wie bei allen Kältemittelanwendungen im ZSE.

11. Landmaschinen-Klimaanlagen

1. Stückzahl. Ackerschlepper machen 90% der selbstfahrenden Landmaschinen aus; das KBA publiziert jährlich ihre Neuzulassungen. Die UN dieser amtlichen Daten ist minimal. Inlandsverkäufe von Mähdreschern und Feldhäckslern werden amtlich nicht

erhoben (keine Zulassungspflicht). Die Angaben zu Mähdreschern stammen vom Marktführer Claas (Marktanteil 50%) sowie von John Deere und Deutz-Fahr (je 10-20% Marktanteil). Auch die Angaben zu Feldhäckslern stammen von Claas (50%) und John Deere (20%). Für beide Teilmärkte stimmen die Angaben der befragten Unternehmen weitgehend überein, was angesichts ihrer hohen Marktanteile nicht verwundert. Wir beziffern die Gesamtunsicherheit für die Stückzahl von Traktoren, Mähdreschern und Feldhäckslern mit 1% (0,01).

2. Klimaquote und Füllmengen. Die Daten zur Klimatisierung (Klimaquote, Füllmengen) von Traktoren werden von den drei Marktführern erfragt, die auch die drei einzigen inl. Produzenten sind: AGCO (früher Fendt), John Deere, SAME Deutz-Fahr. Ihre Marktanteile unter den ca. 30 Anbietern liegen bei jeweils 10 bis über 20%, so dass von den Experten dieser Unternehmen ein zuverlässiger Überblick über den Gesamtmarkt erwartet werden kann. Gleiches gilt für Mähdrescher und Feldhäckler, zu denen außer den drei zu Traktoren befragten Unternehmen noch die Firma Claas Angaben liefert. Wir halten die Datensicherheit für recht hoch, weil die Unternehmen über gut geführte eigene Statistiken verfügen und, wie die hohe Übereinstimmung ihrer Angaben untereinander zeigt, einen guten Überblick über die drei Teilmärkte haben. Die UN der Klimaquote liegt u. E. bei 0,05, diejenige der Füllmenge ist etwas höher; wir schätzen sie auf 0,06.

3. Bestand. Die kombinierte Unsicherheit des Neuzugangs ist 0,079 (0,01; 0,05; 0,06). Diese gilt auch für den Bestand, weil vorzeitiger Schwund durch Export gebrauchter Fahrzeuge keine so große Rolle wie bei Straßenfahrzeugen spielt.

4. Bestands-Emissionsfaktor. Die Rate der lfd. Emissionen liegt für Traktor-Klimaanlagen bei 15%, für die saisonalen Landmaschinen Mähdrescher und Feldhäckler bei 25%. Empirische Studien sind uns nicht bekannt. Die verwendeten Emissionsfaktoren gründen auf Expertenschätzungen der vier inländischen Marktführer. Die 15% für Traktoren wurden von allen drei Experten von AGCO, John Deere und Deutz-Fahr als Daumenwert vorgeschlagen oder zumindest bestätigt. Zu Mähdreschern und Feldhäckslern wurden vier Experten befragt. Zwei sprachen sich für "über 20%", einer für "wahrscheinlich bei 25%" und einer für "mindestens 25%" aus. Die Größenordnung zwischen 20 und 30% wird als durchaus sicher angesehen. Die UN für die Emissionsfaktoren 15% und 25% sehen wir bei 15% (0,15).

5. Verbrauch. Die inländische Traktorenproduktion wird jährlich vom VDMA (Fachverband Landtechnik) nach Stückzahlen erfasst. Zahlen über produzierte Mähdrescher und Feldhäckler liegen als Expertenschätzungen vor. Diese folgen der Regel: Mähdrescherproduktion "etwa so groß wie Inlandsmarkt", Produktion von Feldhäckslern "etwa das Doppelte des Inlandsmarkts". Die Unsicherheit der Stückzahlen insgesamt wird von uns auf 5% (0,05) beziffert. Mangels spezieller Daten zur Klimatisierung der inländischen Produktion werden hilfsweise Klimaquoten und Füllmengen der inländischen Neuzulassungen eingesetzt. Die Unsicherheiten sind darum etwas höher als bei den Neuzulassungen selbst, mit jeweils 0,07. Die kombinierte Unsicherheit des Verbrauchs ist 0,111 (0,05; 0,07; 0,07).

6. Befüll-Emissionsfaktor. Für Landmaschinen-Klimaanlagen werden 5 Gramm Verlust beim Befüllvorgang einer Anlage, unabhängig von der Größe, angenommen. Es ist unser eigener Schätzwert, der sich mit dem ZSE-Standardwert der stationären Kältetechnik deckt. Die Unsicherheit sehen wir bei 0,2.

7. Entsorgungsmenge. Wegen der UN der Lebensdauer (ZSE: 10 Jahre) und damit des Entsorgungszeitpunkts (im ZSE ab 2004) wird für die Entsorgungsmenge eines bestimmten Jahres pauschal die spezifische Unsicherheit 0,1 angenommen (kombin. Unsicherheit hier 0,127). Die spezifische Unsicherheit der Entsorgungsmenge ist im ZSE bei allen Kältemittelanwendungen gleich. Zu beachten ist, dass sich diese neue Unsicherheit nicht auf den Bestand bezieht, sondern auf den Neuzugang (genauer: den Neuzugang vor zehn Jahren). Sie ist symmetrisch.

8. Die Unsicherheit des im ZSE allgemein angewandten Emissionsfaktors der Entsorgung von 30% beträgt 0,2, wie bei allen Kältemittelanwendungen im ZSE.

12. Schiffs-Klimaanlagen

Schiffsklimaanlagen haben große Füllmengen und sehr hohe Emissionsraten, so dass auch relativ kleine Stückzahlen mit hohen Emissionen verbunden sind. Bei Seeschiffen nimmt das ZSE für alle Personenschiffe und für Frachtschiffe ab 100 BRZ (Bruttoreaumzahl) generell eine Klimaanlage an, die seit 1997 mit HFKW betrieben wird. Bei Binnenschiffen sind nur Passagierschiffe klimatisiert. Auch hier hat seit 1997 der HFKW-134a das Kältemittel R-22 abgelöst. Verlässliche Statistiken über alle registrierten Seeschiffe über 100 BRZ liegen vor, mit Angabe des Baujahrs.

Für Seeschiffe ist zu beachten, dass das ZSE nicht alle Schiffe von deutschen Reedern berücksichtigt, sondern nur diejenigen unter deutscher Flagge (in deutschen Registern), weil nur auf diesen deutsches Recht gilt.

1. Bestand. Die jährlichen Zu- oder Abgänge sind bei Seeschiffen keine geeigneten Ausgangsgrößen zur Bestandsschätzung wegen der unregelmäßigen Bestandsänderungen durch (finanziell bedingtes) Aus- oder Einflaggen. Der bei Straßenfahrzeugen angewendete "indirekte" Ansatz der Bestandsermittlung aus den jährlichen Neuzugängen ist aber auch nicht nötig, weil es direkte Statistiken des Bestands nach Stückzahl, BRZ (Klimatisierung!) und Baujahr (ab 1997 mit HFKW) gibt, nämlich von Lloyd's Register Fairplay, woraus auch die vom Verband Deutscher Reeder jährlich veröffentlichten nationalen Daten stammen.

Wir schätzen die kombinierte Unsicherheit des HFKW-Bestands auf 0,085, weil wir für die Stückzahl der ab 1997 gebauten Schiffe eine Unsicherheit von 0,06 annehmen und gleichfalls 0,06 für die aus der neuen EU-Studie (Öko-Recherche 2007d) übernommenen schiffstypischen Füllmengen.

Bei Binnenschiffen liegt der statistische Bestand nicht nach Baujahren vor. Allerdings werden die Bestandsänderungen gegenüber dem Vorjahr gemeldet (Zentrale Binnenschiffbestandsdatei, Mainz; Statistisches Jahrbuch). Sie umfassen außer Neubauten auch Ankäufe und "andere Zugänge". Diese Stückzahlen werden für die Abschätzung des jährlichen HFKW-Neuzugangs verwendet. Wir schätzen die UN des HFKW-Bestands genau so hoch wie bei Seeschiffen: 0,085.

2. Bestands-Emissionsfaktoren. Das ZSE verwendet die Emissionsfaktoren der Studie von Öko-Recherche für die EU-Kommission (Öko-Recherche 2007d), die überwiegend aus Nachfülldaten skandinavischer und Baltischer Seeschiffe

gewonnen wurden, und zwar unterschieden nach direkten und indirekten Systemen. Als Autoren der Studie beziffern wir die Unsicherheit der Emissionsfaktoren mit 0,15.

3. HFKW-Verbrauch. Der jährliche HFKW-Verbrauch zur Befüllung entsteht beim Schiffbau auf deutschen Seewerften. Der Verband für Schiffbau und Meerestechnik (VSM) publiziert jährlich die Zahl der neu gebauten Schiffe nach Nutzungskategorien sowohl für Seeschiffe als auch für Binnen-Fahrgastschiffe, so dass deren Kältemittelfüllungen mit Hilfe der Standardwerte der EU-Studie abgeschätzt werden können. Die Unsicherheit dieser Schätzung beträgt 0,085.

4. Befüll-Emissionsfaktor. Die statistische UN des Emissionsfaktors 1% beträgt 0,2.

5. Entsorgung. Auch wenn wegen der langen Lebensdauer von Schiffen systematische Entsorgung vor 2020 nicht relevant ist und im ZSE noch nicht vorkommt, kann für die Entsorgungsmenge die spezifische Lebensdauer-Unsicherheit von 0,1 angenommen werden. Die Unsicherheit des Emissionsfaktors der Entsorgung hat den ZSE-Standardwert 0,2.

13. Schienenfahrzeug-Klimaanlagen

Der Ansatz zur Unsicherheitsbestimmung ist der gleiche wie bei Schiffen. Auch hier sind die Statistiken des Fahrzeugbestands besser als diejenigen der jährlichen Zu- und Abgänge. Sowohl die Dt. Bahn als auch private Eisenbahnbetreiber (außerdem kommunale U-Bahn- und Straßenbahnbetriebe) veröffentlichen in diversen Quellen ihren Fahrzeugbestand, und zwar nach der Stückzahl verschiedener Typen, Baureihen und Fahrzeugmodelle.

1. Bestand. Öko-Recherche hat - zuletzt im Zuge der Studie für die EU-Kommission (Öko-Recherche 2007d) – im gesamten inländischen Schienenfahrzeugbestand die klimatisierten Fahrzeuge identifiziert und zusammen mit Experten von Betreibern und Herstellern die Anlagen-Füllmengen bestimmt. Der auf diese Weise gewonnene HFKW-Gesamtbestand (ausschließlich R-134a) weist die kombinierte Unsicherheit von 0,05 auf: 0,04 für die Stückzahl und 0,03 für die Füllmengen.

2. Bestands-Emissionsfaktoren. Das ZSE verwendet die Emissionsfaktoren der EU-Studie (Öko-Recherche 2007d), die anhand der Nachfülldaten der vier zentralen Instandsetzungswerke der Deutschen Bahn gewonnen wurden, und zwar unterschieden nach Anlagen mit hermetischen und halbhermetischen Kompressoren (elektrisch betrieben) einerseits und offenen, vom Dieselmotor betriebenen Kompressoren (Dieseltriebfahrzeuge) andererseits. Als Autoren der Studie beziffern wir die Unsicherheit der Emissionsfaktoren mit 0,1.

3. Neuzugang/Verbrauch. Das ZSE benötigt Daten für den inländischen HFKW-Verbrauch, um die Befüllemissionen abzuschätzen. Mangels spezieller Statistiken werden für den jährlichen Verbrauch hilfsweise die Daten des Neuzugangs verwendet, und dieser wird wiederum aus den Bestandsänderungen abgeleitet. Die Datenungenauigkeit für die inländisch produzierten Stückzahlen ist somit höher als für den inl. Bestand. Darum wird für den Verbrauch die Unsicherheit 0,11 (gegenüber 0,05 des Bestands) angenommen. Der Unterschied zwischen Verbrauch und

Neuzugang ist nicht sehr groß, weil bisher die Fahrzeuge deutscher Betreiber überwiegend aus inländischer Fertigung stammen (Außenhandel ist gering).

4. Befüll-Emissionsfaktor. Die statistische UN des Emissionsfaktors 0,2% beträgt 0,2.

5. Entsorgung. Trotz der langen Lebensdauer werden ab 2011 Schienenfahrzeuge entsorgt, wenn auch zunächst nur umgerüstete Altfahrzeuge. Das ZSE nimmt für die Entsorgungsmenge die spezifische Lebensdauer-Unsicherheit von 0,1 an und für den Emissionsfaktors der Entsorgung den Standardwert 0,2.

III. Geschlossene Systeme mit einfacher Aktivitätsrate

Charakteristik. Diese Gruppe umfasst Sektoren aus verschiedenartigen Anwendungen: Kühlgeräte, Feuerlöschmittel, Hartschaum, Teilchenbeschleuniger, Schaltanlagen und Schallschutzscheiben. Mit den großen Gruppen der Kälte-Klima-Technik ist ihnen gemein, dass die Gase nach Befüllung bzw. Herstellung im Produkt bleiben (geschlossene Systeme) und längerfristigen Bestand bilden. Die Gase emittieren über die ganze Lebensdauer hinweg. Es kommen alle drei Typen von Emissionsfaktoren und Emissionen vor, deren Unsicherheiten zu bestimmen sind.

Der Unterschied zu den vorher betrachteten Sektoren besteht in der Methode der Emissionsermittlung. Die zentrale Aktivitätsrate Neuzugang bzw. Verbrauch wird nämlich nicht erst aus Stückzahlen, spezifischen Füllmengen und HFKW-Mix errechnet. Vielmehr wird sie direkt als Ganzes erhoben und ins ZSE eingegeben. Diese Größe wird jährlich abgefragt und unterliegt nur einer einfachen Unsicherheitsbestimmung. Voraussetzung dieser Vorgehensweise ist, dass es sich nicht um heterogene Anwendungsgebiete handelt, sondern um gut überschaubare Sektoren.

Tab. 3 Quantifizierte Unsicherheiten von Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren, Emissionen – Geschlossene Systeme mit einfacher Aktivitätsrate

	PU Hartsch.	XPS	Haus- geräte	Feuer- löschmittel	Schalt- anlagen	Teilchen- beschl	Schall- schutz
	134a/245/365	134a	134a	227ea/236fa	SF ₆	SF ₆	SF ₆
Verbrauch	± 0,1	± 0,02		± 0,01	± 0,06	n. e.	± 0,03
Exportquote		± 0,04					
EF _{Herstellung}	+0,1	± 0,02	na	± 0,25	na	n. e.	± 0,1
EM _{Herstellung}	ber.	ber.	na	ber.	± 0,1	n. e.	ber.
Mkt/NZG/EB/MB	= Verbr	ber.	± 0,1	= Verbr	= Verbr	± 0,1	± 0,058
EF _{Bestand}	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,1 (236)	± 0,06*	± 0,17	± 0,1
EM _{Bestand}	ber.	ber.	ber.	± 0,05 (227)	± 0,1	ber.	ber.
Ents.-Menge	ne	ne	± 0,1	± 0,1	± 0,06	ne	± 0,1
EF _{Entsorgung}	ne	ne	± 0,2	± 0,2	± 0,08	ne	± 0 (100%)

** Gilt für die Hochspannung. In der Mittelspannung gleich Neuzugang.

14. PU-Hartschaum (HFKW-134a, HFKW-245fa/365mfc)

Im Gegensatz zu Kälte-Klima ist für die Gesamtemissionen beim Hartschaum (PU und XPS) der Emissionsfaktor der Herstellung quantitativ weit wichtiger als der Emissionsfaktor des Bestands.

Der Emissionsfaktor der Herstellung begründet eine signifikante Differenz zwischen Verbrauch und Neuzugang. Der Neuzugang enthält nur diejenigen HFKW, die bei der Herstellung vom Verbrauch nicht entwichen sind. Das ist zwar bei Kälte-Klima grundsätzlich auch der Fall. Dort sind die Befüllemissionen aber so gering, dass Verbrauch und Neuzugang gleichgesetzt werden können. Im Hartschaumbereich gilt generell die Gleichung:

Neuzugang zum Bestand = Verbrauch minus Herstellungs-Emissionen.

Von sekundärer Bedeutung - zumindest in den ersten 15 bis 25 Jahren der Nutzung - sind der Emissionsfaktor des Bestands und damit die Bestandsemissionen. Der Bestand wird als die Summe der jährlichen Neuzugänge aufgefasst, so dass er dieselbe Unsicherheit aufweist wie diese¹¹.

Demzufolge gibt es nur drei unabhängige Variablen, deren Unsicherheiten zu bestimmen sind: Verbrauch und die Emissionsfaktoren von Herstellung und Bestand.

14.a PU-Hartschaum mit HFKW-134a

1. Verbrauch/Neuzugang. Das Treibmittel HFKW-134a wurde als Nachfolger des HFKW-141b zuerst eingesetzt, kommt aber ab 2004 praktisch nicht mehr vor. Die Verbrauchsdaten für die Zeit vor 2004 sind sehr präzise; sie stammen direkt von den in überschaubarer Zahl aktiven Anwendern, denen zufolge der Verbrauch stabil war und nur jährlichen Marktschwankungen unterlag. Die UN wird mit 0,1 quantifiziert.
2. Emissionsfaktor der Herstellung. Der HFKW-134a wurde für die Herstellung von beiderseitig mit Stahl beschichteten Dämmplatten (Sandwichplatten) benutzt, was relativ moderate Emissionen beim Schäumen mit sich brachte. Von den Anwendern selber wurden etwa 10% Verlust eingeräumt, der aber auch 9 oder 11% betragen haben könnte. Diese Werte, die mit Angaben in der internationalen Fachliteratur (siehe u. a. IPCC GL 1999 und 2006) übereinstimmen, haben u. E. eine UN von 0,1.
3. Bestands-Emissionsfaktor. Die Nutzphase ist die gesamte Lebensdauer des Schaumprodukts. Sie hält auch noch an, nachdem HFKW-134a nicht mehr zur Herstellung eingesetzt wird. Der EF ist wegen des Einschlusses des Treibmittels in Sandwichplatten relativ niedrig mit 0,5% (0,005). Die UN wird mit 0,2 veranschlagt.
4. Entsorgung. Wegen der langen Lebensdauer des Schaums und des noch nicht lange zurückliegenden Beginns der HFKW-Anwendung ist Entsorgung kein kurz- oder mittelfristiges Thema. Das ZSE enthält noch keine Emissionsfaktoren dafür. Das gilt auch für die HFKW-365mfc und -245fa.

14.b PU-Hartschaum mit HFKW-245fa/-365mfc

1. Verbrauch/Neuzugang. Die neuen flüssigen HFKW-365mfc und -245fa werden im ZSE als miteinander austauschbar behandelt. Sie sind seit 2002 im Einsatz, wobei die ersten beiden Jahre der Testphase zuzurechnen sind. Nennenswerten Verbrauch gibt es seit 2004. Die Verbrauchsschätzungen stammen von den HFKW-Herstellern selbst, die über Daten zu ihrem eigenen Absatz in Deutschland verfügen. Wegen des den Herstellern unbekanntem HFKW-Exports seitens der Kunden (nicht Export von Schaumprodukten, sondern von Treibmittel!) nehmen wir für Verbrauch (und Neuzugang) der beiden flüssigen HFKW-Typen eine Unsicherheit von 0,1 an.

¹¹ Streng genommen muss für Neuzugang und Bestand auch die Unsicherheit der Herstellemissionen berücksichtigt werden, weil diese vom Verbrauch abgehen, bevor daraus Zugang wird. Sind die Herstellemissionen aber z.B. 15% des Verbrauchs und ist ihre Unsicherheit 0,1, dann beträgt die zusätzliche Unsicherheit des Neuzugangs gegenüber derjenigen des Verbrauchs nicht erneut 0,1, sondern nur 15% davon. Die kombinierte Unsicherheit aus Verbrauch und Neuzugang ist dann nur 0,001 höher als die einfache Unsicherheit des Verbrauchs. Das ist so wenig, dass wir diese Unsicherheit weglassen können- anders als z.B. bei Schallschutzfenstern.

2. Emissionsfaktor der Herstellung. Die neuen Treibmittel werden zu sehr großem Teil für Spritzschaum eingesetzt, d. h. in stark emissiver Anwendung. Der mittlere Emissionsfaktor der Gesamtheit der Anwendungen wird daher höher als bei 134a, nämlich auf 15% geschätzt. Die UN entspricht derjenigen bei 134a und beträgt 0,1.

3. Bestands-Emissionsfaktor. Bei den neuen Treibmitteln, die häufig in Schaumprodukten ohne Deckschichten verbleiben, ist der Emissionsfaktor höher als bei HFKW-134a in Sandwichplatten. Es wird doppelte Höhe, nämlich 1% angenommen. Die UN wird wie bei HFKW-134a mit 0,2 quantifiziert.

15. XPS-Dämmplatten mit HFKW-134a

Soweit extrudiertes Polystyrol mit HFKW-134a (nicht mit HFKW-152a) hergestellt wird, ist die Situation strukturell mit PU-Hartschaum vergleichbar. Die entscheidenden unabhängigen Variablen für die Unsicherheitsbestimmung sind auch hier inländischer Verbrauch und die Emissionsfaktoren für Herstellung und Bestand.

Eine Besonderheit bei XPS ist die große Bedeutung des Produktexports. Etwa 75% der HFKW-134a-haltigen Dämmplatten werden ausgeführt. Die Gleichung aus dem PU-Sektor für den inl. Neuzugang muss daher im Falle XPS-134a erweitert werden:

HFKW-Neuzugang = Verbrauch minus Herstellungs-Emissionen minus Export.

Darum muss die Unsicherheit für eine vierte Variable bestimmt werden, nämlich für den Exportanteil an den hergestellten XPS-Produkten mit HFKW-134a.

1. Verbrauch. Seit einigen Jahren wird der inl. HFKW-Verbrauch (auch für HFKW-152a, der in einer anderen Gruppe betrachtet wird) vom Dachverband der europäischen Hersteller (CEFIC) direkt bei den deutschen Produzenten (Einkaufsmenge) abgefragt und für die Eingabe in das ZSE mitgeteilt. Die Datenunsicherheit ist sehr niedrig und mit der UN 0,02 ausreichend quantifiziert.

2. Emissionsfaktor der Herstellung. Auch dieser Wert wird von CEFIC mitgeteilt. Er ist kein fester Wert, sondern wird über die durch Massenbilanzierung ermittelten Fabrikemissionen jährlich neu berechnet. Auch hier ist hohe Datensicherheit gegeben. Wir bestimmen die UN des Messverfahrens auf 0,02.

3. Export. Die Exportquote der HFKW-134a enthaltenen Platten wird zwar gleichfalls jährlich mitgeteilt. Sie wird aber nicht gemessen, sondern von CEFIC-Experten abgeschätzt. Für die Notwendigkeit einer Unsicherheitsbestimmung spricht die seit mehreren Jahren gemeldete Konstanz der mitgeteilten Exportquote von genau 75%. Nach Rücksprache mit dem Verband könnten es auch 78% oder 72% sein. Diese Angaben entsprechen einer UN von 0,04, die das ZSE berücksichtigt.

Die berechnete Unsicherheit von Neuzugang (zugleich UN von inländischem Markt, jährlichem Endbestand und mittlerem Bestand) setzt sich aus den Unsicherheiten des Verbrauchs (0,02) und der Exportquote (0,04) zusammen und beträgt 0,0447.

4. Emissionsfaktor des Bestands. Experten schätzen den Emissionsfaktor auf 0,5 bis 1%. Die IPCC-GL 2006 geben als Standardwert 0,75% an. Das ZSE verwendet

0,66%, weil dies der einzige Wert ist, der auf Messungen eines inl. Herstellers (BASF) basiert. Nach unserer Einschätzung berücksichtigt ein Wert von 0,2 die Unsicherheit ausreichend.

16. Haushalts-Kühlgeräte mit HFKW-134a

Wegen der bis 1995 abgeschlossenen Umstellung der Inlandsproduktion auf das Kältemittel Isobutan sind die Verhältnisse hier anders als in der sonstigen Kältetechnik. Inlandsverbrauch und Befüllemmissionen von HFKW sind seit 1995 nicht mehr zu berücksichtigen. Der HFKW-Neuzugang seit 1995 kommt nur durch ausländische Kühlgeräte zustande, die Branchenexperten zufolge (Greenpeace, Liebherr) jährlich etwa 40.000 Stück (1% des Marktes) ausmachen.

1. Neuzugänge seit 1995 erhöhen den aus dem einzigen vollen Neuzugang 1994 gebildeten inl. Bestand jährlich um die genannten 40.000 importierten Stück. Der Neuzugang 1994 beruht auf qualifizierten Marktzahlen der Branche, die Neuzugänge danach weisen die UN 0,25 auf. Die UN des seit 1994 aufgehäuften Bestands (Summe der 1994er und aller nachfolgenden Neuzugänge) wird mit 0,1 beziffert.

2. Der Bestands-Emissionsfaktor im ZSE ist 0,3%. Die UN wird in Anlehnung an Branchenkenner (FKW), die bis zu 0,36% für möglich halten, auf 0,2 geschätzt.

3. Wegen der durchschnittlich 15-jährigen Lebensdauer wird die Entsorgung erst ab 2008 relevant. Aufgrund der Unsicherheit der Lebensdauer und damit des Entsorgungszeitpunkts ist die Entsorgungsmenge in gleichem Ausmaß unsicher. Ein Wert dafür ist im ZSE noch nicht vorhanden. Wir schlagen dafür den Kälte-Klima-Standardwert der Unsicherheit von 0,1 vor, und für den Emissionsfaktor der Entsorgung in Höhe von 30% die Unsicherheit 0,2.

17. Feuerlöschmittel in Anlagen (HFKW-227ea, -236fa, -23)

17.a Löschmittel HFKW-227

Das Löschmittel HFKW-227ea wird in Deutschland praktisch nur von einer einzigen Firma vertrieben und installiert. Aufgrund einer Vereinbarung mit dem Umweltbundesamt führt diese Firma Aufzeichnungen nicht nur über die jährlich verbrauchte Menge für Neuanlagen, sondern auch über die Nachfüllungen zum Emissionsausgleich im Jahresverlauf. So kommen nicht nur robuste Daten zu inl. Verbrauch und Neuzugang (hier größengleich) zustande, sondern auch verlässliche Daten der Nutzphase-Emissionen.

Verbrauch/Neuzugang/Bestand. Die UN des Verbrauchs/Neuzugangs (und damit des Bestands) ist mit 0,01 ausreichend quantifiziert. Die Unsicherheit der Befüllverluste (Emissionsfaktor der Befüllung) wird von dem berichtenden Unternehmen Kidde auf 25% (0,25) geschätzt - auf ein sehr niedriges Emissionsniveau bezogen.

Bestandsemissionen werden direkt erhoben (Nachfüllungen); für sie wird eine Unsicherheit von 0,05 angenommen. Dies ist deshalb der Fall, weil außer dem berichtenden Unternehmen noch ein anderes im Geschäft ist, dessen Marktanteil

etwa 5% beträgt. (Der Emissionsfaktor des Bestands ergibt sich implizit aus den Emissionen selbst, so dass keine neue Unsicherheitsbestimmung benötigt wird.)

Die Entsorgung ist nicht vor 2013 aktuell, so dass eine Unsicherheitsbestimmung im ZSE bisher unterblieb. Wir schlagen vorläufig für die UN der Entsorgungsmenge den Kälte-Klima-Standardwert 0,1 vor, und für den Emissionsfaktor der Entsorgung 0,2.

17.b Löschmittel HFKW-236fa

Die Datenlage bei diesem praktisch nur vom Militär verwendeten Löschmittel (mit geringer Mengenbedeutung) ist vergleichbar gut wie bei HFKW-227ea. Die Mengen werden der Amtlichen Prüfstelle für Feuerlöschmittel gemeldet, die sie dem Umweltbundesamt mitteilt. Das Löschmittel wird zu einem Teil offen in Tests verbraucht und zum anderen Teil in Anlagen von Militärfahrzeugen gefüllt. In diesem Kapitel geht es nur die Nutzung in Anlagen, der offene Testverbrauch wird später im Kapitel über offene Anwendungen behandelt.

1. Verbrauch/Neuzugang/Bestand. Für die Aktivitätsrate Verbrauch zur Anlagenbefüllung (= Neuzugang) beträgt die UN 0,01; diese gilt auch für den Bestand in Anlagen. Die UN des Befüll-Emissionsfaktors (bei Anlagen) ist genau so hoch wie bei HFKW-227ea, nämlich 0,25.

2. Der Bestands-Emissionsfaktor bei 236fa ist mit 5% viel höher als bei 227ea. Das gilt auch für seine UN, die 0,1 beträgt. Mangels eigener Daten nehmen wir sowohl für den Emissionsfaktor als auch seine UN die Standardwerte aus den IPCC-GL 1999¹².

Die Entsorgung ist bisher nicht aktuell, so dass eine Unsicherheitsbestimmung im ZSE bisher unterblieb. Wir schlagen vorläufig für die UN der Entsorgungsmenge den Kälte-Klima-Standardwert 0,1 vor, und für den Emissionsfaktor der Entsorgung 0,2.

17.c Löschmittel HFKW-23

Dieses Löschmittel wird erst seit 2005 eingesetzt, bisher nur in einer Anlage. Anlagen. Die Unsicherheit der Aktivitätsraten Verbrauch/Neuzugang/Bestand wird von uns mit 0,1 bestimmt. Der Wert ist in den Folgejahren zu überprüfen, da zurzeit noch keine spezifischen Werte vorliegen und daher die gleiche Entwicklung wie bei anderen HFKW-Löschmitteln angenommen wird. Für die Unsicherheit der relativen Emissionen nehmen wir vorläufige Werte an: 0,25 für den Befüll-Emissionsfaktor und 0,2 für den Emissionsfaktor des Bestands.

18. Anlagen der elektrischen Energieübertragung und -verteilung mit SF₆

Schalter und Schaltanlagen der Hoch- und Mittelspannung sowie sonstige Betriebsmittel der Energieübertragung und -verteilung (Wandler, Durchführungen) enthalten fluorierte Treibhausgase in längerfristig geschlossenen Systemen (closed for life oder sealed for life). Das ist ihre grundlegende Gemeinsamkeit mit Kälte-Klimaanlagen. Die jährliche Ermittlung von Verbrauch und Bestandsänderung von

¹² Das sind die einzigen Unsicherheitsangaben, die in den IPCC-Guidelines von 1999 überhaupt für HFKW als Substitute ozonzerstörender Substanzen vorkommen. In den neuen Guidelines (IPCC 2006) sind auch diese nicht mehr vorhanden. Es gibt hier lediglich einen Hinweis auf eine Standardabweichung von 16% bei der Berichterstattung zur globalen Halon-Produktion (vol 3, 7.6.3).

SF₆ ist allerdings nicht auf die Multiplikation von Stückzahlen mit mittleren Füllmengen angewiesen; vielmehr erfassen sowohl Hersteller als auch Betreiber ihre jährlichen Gasmengen direkt.

- Die inländischen Hersteller melden jährlich ihren SF₆-Verbrauch sowie die Produktionsverluste (Befüllemissionen) für Geräte der Hoch- und Mittelspannung.
- Im Bereich der Mittelspannung liefern die Hersteller auch die Betreiberdaten Bestandszugang, Bestand, und Außerbetriebnahmen. Zur Abschätzung der Bestandsemissionen in der Mittelspannung wird ein in regelmäßigen Abständen überprüfter Emissionsfaktor (zurzeit 0,1%) angewandt.
- Die Daten zu Bestand, Bestandsemissionen und Außerbetriebnahmen in der Hochspannung werden jährlich von den Netzbetreibern ermittelt, und zwar durch eine direkte Erhebung bei den Anwendern.
- Für die Entsorgungsemissionen wird sowohl in der Hoch- als auch in der Mittelspannung ein konstanter Emissionsfaktor benutzt – auf Basis einer im Abstand von mehreren Jahren durchgeführten Massenbilanzierung.

Grundlage des präzisen SF₆-Monitorings ist eine Selbstverpflichtung der Hersteller und Netzbetreiber.

Die Unsicherheiten aller Daten wurden in einem Fachgespräch von Öko-Recherche mit den führenden Vertretern der Hersteller und Netzbetreiber erörtert¹³. Die Abschätzungen aus diesem Gespräch werden im ZSE verwendet. Für sämtliche Emissionsdaten wird eine Unsicherheit von 10% (0,1) angenommen. Diese Größe deckt sich mit dem Vorschlag der IPCC-GL 2006 (sowie der GL 1999) für die in Deutschland angewandte Methode: "When using the Tier 3 method, the resulting emissions estimates will have an accuracy of the order of ± 10 percent" (vol 3, 8.2.3).

Die Angaben zu Verbrauch und Außerbetriebnahmen weisen eine geringere Unsicherheit als die Emissionen auf, nämlich 0,06. Die fixen Emissionsfaktoren der Entsorgung und des Bestands in der Mittelspannung werden mit 0,08 quantifiziert.

19. Teilchenbeschleuniger (SF₆)

SF₆ wird bei Teilchenbeschleunigern als Isolatorgas eingesetzt. Hochspannungsgeräte (0,3 bis über 23 MV) werden an Hochschulinstituten, Forschungsgemeinschaften und in der Industrie eingesetzt, in der Industrie außerdem Niedrig-Energie-Geräte mit weniger als 0,3 MV. Eine weitere Kategorie stellen Strahlentherapie-Geräte in medizinischen Einrichtungen dar.

Anfang 2004 führte Öko-Recherche für das Umweltbundesamt eine Totalerhebung zu inländischen Teilchenbeschleunigern durch, um die teilweise bis auf 1996 zurückreichenden Daten zu aktualisieren. Dabei wurden sowohl Anwender als auch

¹³Teilnehmende Experten des Fachgesprächs am 17.9.2007 in Dessau waren Johannes Stein, ZVEI, Fachbereich Schaltgeräte, Schaltanlagen, Industriesteuerungen, Frankfurt am Main; Friedrich Plöger, Siemens AG, Erlangen (Lead-Author des SF₆-Abschnitts der IPCC-GL 2006), Thoralf Bohn, Verband der Netzbetreiber (VDN), Berlin, sowie Dr. Cornelia Elsner (UBA).

Hersteller befragt, und zwar nach den SF₆-Mengen in ihren Geräten als auch nach den SF₆-Nachfüllungen während der letzten sieben Jahre.

Das ZSE übernimmt die Gliederung dieser Erhebung und enthält für alle fünf Kategorien jährlichen SF₆-Bestand und jährlichen Ersatz für Emissionen. Letztere schließen außer den laufenden die - geringfügigen – Befüll- und Entsorgungsverluste ein. Die Autoren der Studie schätzen die Unsicherheit des Bestands für jede einzelne Kategorie (und für den Gesamtbestand) auf 10 Prozent (0,1). Für den jährlichen Emissionsersatz (Emissionsfaktor) wird die Unsicherheit mit etwa 17 Prozent (0,17) quantifiziert, so dass die Unsicherheit der Emissionen etwa 0,2 beträgt.

Die Entsorgung wird im ZSE nicht explizit behandelt, da die Entsorgungsemissionen im Emissionsersatz enthalten sind. Die Entsorgungsmenge wird daher nicht in ihrer Unsicherheit bestimmt.

20. Schallschutzscheiben (SF₆)

Bei der Anwendung von SF₆ in Schallschutzscheiben (seit den 70er Jahren praktiziert) sind drei Emissionsquellen zu berücksichtigen.

- Bei der Befüllung der Scheibenzwischenräume kommt es zu Gasverlusten bis zu über 50% des jährlichen Verbrauchs.
- Während der Nutzungsdauer von durchschnittlich 25 Jahren ist jährlich mit etwa einem Prozent Verlust zu rechnen.
- Beim Scheibenrückbau am Lebensende wird das noch enthaltene Gas nicht zurückgewonnen, sondern emittiert vollständig in die Atmosphäre.

Wegen der Totalemission bei der Entsorgung wurde diese Anwendung durch die F-GaseVO verboten.

1. Verbrauch. Der Verbrauch zur Befüllung wird jährlich beim Gasehandel erfragt, dessen Absatzdaten sehr zuverlässig sind. Der relativ hohe UN-Wert von 0,03 gründet auf einem unerfassten Rest, weil nicht alle, sondern nur die großen Händler befragt werden. Das Statistische Bundesamt hat 2006 erstmals nach nov. UStatG eine SF₆-Erhebung bei allen Unternehmen des Gasehandels durchgeführt. Daraus geht hervor, dass zusätzlich zu den bisher von Öko-Recherche (ÖR) befragten Händlern noch drei weitere (kleinere) im Geschäft mit SF₆ an Fensterbauer aktiv sind. Deren Absatz macht 2,8% der Gesamtmenge aus, was die bisherige ÖR-Schätzung des Rests (3%) weitgehend bestätigt.

2. Überfüllung. Für die Anwendung Schallschutzscheiben sind extrem hohe Befüllverluste (sog. Überfüllung) typisch. Der Emissionsfaktor der Befüllung in Höhe von 33% wurde 1996 und 1999 in zwei Studien von Öko-Recherche ermittelt. Diese Daten wurden auch für die Unsicherheitsbestimmung herangezogen. Es waren zehn Branchenexperten (Scheibenhersteller, Füllgeräteelieferanten) um ihre Einschätzung des Befüllverlustes gebeten worden.

Die folgende Tabelle enthält die Experten- Antworten und den Mittelwert ihrer Angaben.

Expertenschätzung der SF ₆ -Überfüllung bei Schallschutzscheiben	
	Geschätzter Befüllverlust in Prozent
Experte 1	25
Experte 2	30
Experte 3	30
Experte 4	30
Experte 5	35
Experte 6	40
Experte 7	40
Experte 8	40
Experte 9	30
Experte 10	30
Mittelwert	33
2 x Standard Error	3,399 (10,3%)

Quelle: Schwarz 2004, Seite 221 (ergänzt um Archivdaten).

Die statistische Unsicherheit von Mittelwerten bei (gängigem) Vertrauensintervall von 95% beträgt zwei Standardfehler. Zwei Standardfehler in der Schätzung der zehn Experten sind 3,399 bzw. 10,3 Prozent des Mittelwertes von 33%. Die UN des Emissionsfaktors der Befüllung ist daher im ZSE 10% (0,1). Das ist auch der Wert, den die die IPCC-GL 1999 sowie 2006 vorschlagen (vol 3, 3.5.2.1 bzw. vol 3, 8.3.3).

3. Neuzugang. Wegen der hohen Überfüllung kann der Neuzugang zum Bestand (jährliche Bestandszunahme) nicht mit dem Verbrauch gleichgesetzt werden; der Neuzugang ist um 33% geringer. Auch die Unsicherheit des Neuzugangs (und damit des Bestands) von 0,03 ist nicht gleich derjenigen des Verbrauchs, sondern ist höher (0,058), da die Unsicherheit der Überfüllung - teilweise - noch zu berücksichtigen ist.

Die Unsicherheit der Bestandszunahme ist erstens die UN des Verbrauchs (0,03) und zweitens die "Restunsicherheit" (nicht die gesamte Unsicherheit) des wirklichen Neuzugangs. Dessen Umfang ist 67% des Verbrauchs bzw. Verbrauch minus 33% Überfüllung. Die Unsicherheit dieser Überfüllung ist 3,3% (0,033), weil 0,1 auf 33% bezogen (siehe oben). Die Unsicherheit des Neuzugangs ist aber nicht umgekehrt 0,1 bezogen auf 67%, sondern ist so groß wie die Unsicherheit der Überfüllung, nämlich 3,3%, die auf 67% zu beziehen sind. Das sind 5% oder 0,05 (nur die Hälfte der Unsicherheit der Überfüllung). Die berechnete Unsicherheit des Neuzugangs ist die Wurzel aus der Quadratesumme 0,03; 0,05 - mithin 0,05831.

4. Emissionsfaktor des Bestands. Der jährliche Verlust von 1% ist der Maximalwert der DIN-Norm 1286 (10 Promille Verlust durch die Randabdichtung der Scheibe). Laut einhelliger Expertenaussage liegt der reale Gasverlust bei intaktem Glas darunter. Infolge Glasbruchs bei Transport, Einbau und Nutzung sowie der mit dem Alter zunehmenden Undichtheit des Randverbunds sind 1% Gasverluste jedoch realistisch, mit Schwankungen um diesen Wert (Unsicherheit) von 0,1 (10%). Dieser Wert ist geringer als der derjenige der IPCC-GL 1999 und 2006. Dort wird "1±0,5%" vorgeschlagen, d.h. 1% Emissionen (wie bei uns), aber mit der Unsicherheit 0,5.

5. Entsorgungsmenge. Der Emissionsfaktor der Entsorgung ist 100% und braucht definitionsgemäß keine UN-Bestimmung. Für die zur Entsorgung anstehende Menge ist jedoch zusätzlich zur UN des Bestands die UN der Lebensdauer (Durchschnitt 25 Jahre) zu beachten. Das ZSE verwendet dafür - wie für alle geschlossenen Systeme - den Wert 0,1. Die IPCC-GL 1999 und 2006 machen dafür keinen Vorschlag.

IV. Halboffene Systeme

Charakteristik. Generell handelt es sich um Systeme mit F-Gasen, die bei Nutzung oder Entsorgung vollständig frei werden. Wird die Gleichung $\text{Emission} = \text{Aktivitätsrate} \times \text{Emissionsfaktor}$ zu Grunde gelegt, kann man von einem Emissionsfaktor von 100% (1,0) sprechen. Dabei kann es sich um Emissionen des Bestands oder der Entsorgung handeln - eine Unsicherheitsbestimmung ist dafür nicht erforderlich. Vollständige Emission aus dem System haben halboffene mit völlig offenen Anwendungen gemein. Anders als bei offener Anwendung bilden die F-Gase jedoch, zumindest vorübergehend, einen Bestand, der jedes Jahr befüllt wird.

Die typische halboffene HFKW-Anwendung ist die "Dose". Hier gibt es einen begrifflichen Unterschied zwischen inländischem Neuzugang und inl. Verbrauch zur Befüllung, wofür zwei verschiedene Unsicherheiten zu bestimmen sind. Dies hängt mit dem Außenhandel zusammen, der zur Abweichung von Verbrauch und inl. Markt führt, weil auf dem Markt neben im Inland abgefüllten Produkten auch solche angeboten werden, die im Ausland befüllt und danach importiert wurden.

Es sei angemerkt, dass Kriterium für die Zugehörigkeit zu halboffenen Systemen nicht die Komplexität der Aktivitätsrate ist. Denn diese ist im Falle allg. Aerosole, Novelty-Sprays, Autoreifen und Sohlen einfach (Direktabschätzung), während sie bei Montageschaum und Dosieraerosolen im Dreischritt "Stückzahl x spez. Füllmenge x HFKW-Split" erfolgt, der für den Bereich Kälte und Stationäres Klima typisch ist.

Tab. 4 Quantifizierte Unsicherheiten von Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren, Emissionen – Halboffene Systeme

	Montagesch.	Dosieraeros	Allg Aerosol	Novelties	Reifen	Sohlen
	134a/152a	134a/227ea	134a/152a	134a/152a	SF ₆	SF ₆ /FKW 218
Dosenzahl	± 0,1					
HFKW/Dose	± 0,05					
HFKW-Split	± 0,05					
Verbrauch	ber.	ber. (± 0,01)	± 0,1	na	± 0,03	
EF _{Befüllung}	± 0,2	± 0,1	± 0,2	na	n. e.	
EM _{Befüll}	ber.	ber.	ber.	Na	n. e.	
Inl. Markt	ber.	± 0,03	± 0,15	ber.*	= Verbr.	± 0,15
EF _{Anwendung}	± 0 (100%)	± 0 (100%)	± 0 (100%)	± 0 (100%)	n. e.	n. e.
EM _{Anwendung}	= inl. Mkt	= inl. Mkt	= inl. Markt	= inl. Mkt	n. e.	n. e.
Ents.Menge					0,1	0,1
EF _{Entsorgung}					± 0 (100%)	± 0 (100%)
EM _{Entsorgung}					ber.	ber.

* Berechnung aus UN des EU-Markts (0,1) und UN des dt. Anteils am EU-Markt (0,18).

21. PU-Montageschaum (HFKW-134a/-152a)

Für PU-Montageschaum aus der Dose (OCF = One-Component-Foam) gibt es keine amtlichen oder Verbands-Statistiken über inländischen Verkauf oder inl. Produktion. Aufgrund der geringen Zahl relevanter Anbieter (fünf) auf dem deutschen Markt sowie der gleichen Zahl inl. Abfüller wurden daher seit den 90er Jahren jährliche Schätzungen von Experten aus jenen Unternehmen erbeten. Wegen der diesen

Insidern gegebenen großen Markttransparenz wichen die Mengenschätzungen kaum untereinander ab. In den letzten Jahren wurde daher nur noch ein relevanter Abfüller befragt, dessen Informationen uns gleich verlässlich wie vorher gelten.

Das ZSE geht bei der Mengenbestimmung von der absoluten Zahl der Dosen aus, die jährlich abgefüllt, exportiert, importiert werden und – damit – auf dem inländischen Markt vorhanden sind. Daraufhin werden die Expertendaten zu mittlerer HFKW-Füllmenge pro Dose und zu Treibmittel-Split (134a/152a) eingegeben, so dass die jährlich abgefüllte und die inländisch genutzte (versprühte) Menge für HFKW-134a und HFKW-152a errechnet werden kann. In Verbindung mit dem Emissionsfaktor für die Anwendung, der im ZSE mit 100% im Verkaufsjahr angenommen wird (abweichend von dem u. E. zu komplizierten Vorschlag der GL 1999 und 2006, für das erste Jahr nur 95% Anwendungsemissionen und für die Folgejahre 5% Emissionen aus dem erzeugten PU-Schaum zu berechnen) und dem von den Experten erfragten Emissionsfaktor für die Abfüllung (Gramm pro Dose) ergeben sich sowohl die Nutzungsemissionen als auch die Anwendungsemissionen.

1. Stückzahl. Die Unsicherheit der jährlichen Dosiszahl wird für Verbrauch, Import, Export und inl. Gesamtmarkt gleichermaßen mit 0,1 quantifiziert.
2. Füllmengen. Die Unsicherheit der mittleren HFKW-Füllmenge wird von den Experten selber mit "etwa 5%" (0,05) angegeben.
3. Treibmittelsplit. Die gleiche Unsicherheit (0,05) besteht den Experten zufolge auch bei der Aufteilung zwischen HFKW-134a und HFKW-152a.

Aus den drei einzelnen Unsicherheitswerten errechnet sich eine kombinierte UN von etwa 0,122 (0,1; 0,05; 0,05) für die auf dem inl. Markt befindliche wie für die inländisch verbrauchte (abgefüllte) HFKW-Menge, jeweils für HFKW-134a und -152a.

Aufgrund des Emissionsfaktors der Anwendung von 100% (keine Unsicherheit) ist die Unsicherheit der Anwendungsemissionen für beide HFKW identisch mit der Unsicherheit des inl. Markts. Die Unsicherheit der Befüllemissionen ist höher als diejenige des inl. Verbrauchs, da zusätzlich zu dessen Unsicherheit diejenige des Befüll-Emissionsfaktors berücksichtigt werden muss, welche die Experten auf 0,2 schätzen – bei einem Emissionsfaktor von 1,5 Gramm pro Dose.

22. Dosieraerosole (HFKW-134a/-227ea)

1. Verbrauch. Der jährliche Verbrauch von HFKW-134a zur inl. Abfüllung wird nicht auf Basis der Zahl der Dosen und ihrer spez. Füllmengen errechnet, sondern direkt von den Abfüllern erfragt, welche ihre Mengen tonnengenau melden. Da es weniger als drei Unternehmen sind, ist die Datensicherheit sehr hoch. Die Unsicherheit des Verbrauchs ist mit 0,01 ausreichend hoch bewertet. Auch die Befüllemissionen werden jährlich von den Abfüllern mitgeteilt – und zwar als Prozentsatz des Verbrauchs (= Emissionsfaktor der Befüllung). Der größte dt. Abfüller nimmt für diesen Prozentsatz eine Unsicherheit von 0,1 an. Diesen Wert benutzt das ZSE für die Unsicherheitsbestimmung der berechneten Befüllemissionen – als Kombination der Unsicherheiten von Verbrauch und Befüll-Emissionsfaktor.

2. Inlandsmarkt. Auch der inl. Markt für HFKW-134a und -227ea in Dosieraerosolen wird direkt ins ZSE eingegeben. Die geringe Unsicherheit von 0,03 gründet auf einem externen Verfahren, das den Markt auf Basis von Daten über jährlich verkaufte Dosen, ihre Füllmengen und die verwendeten HFKW-Typen ermittelt. Die befragten Experten aus der Pharmaindustrie kennen ausreichend genau die Stückzahl der jährlich in Apotheken verkauften über 50 verschiedenen Präparate, ihre unterschiedlichen Packungsgrößen und unterschiedlichen Mengen an Treibmittel, das wiederum entweder HFKW-134a oder -227ea ist. Dazu kommen die Mengen in Ärztemustern und Krankenhäusern. Wegen der hohen statistischen Verlässlichkeit wird von den Experten die UN der auf dem Inlandsmarkt verkauften HFKW-Mengen auf maximal 3% (0,03) geschätzt. Da der Emissionsfaktor 100% ist (keine Unsicherheit), ist die UN der Anwendungsemissionen der UN des Marktes gleich.

23. Allgemeine Aerosole (HFKW-134a/-152a)

Allgemeine Aerosole haben seit vielen Jahren generell Kohlenwasserstoffe als Treibmittel und nur zu einem Bruchteil HFKW. Diese sind auf technische Anwendungen (Kälte- und Druckluftsprays) sowie einen Abflussreiniger begrenzt. Die dort eingesetzten HFKW bestehen zu ca. 90% aus 134a und zu den restlichen ca. 10% aus 152a. Gemäß Branchenexperten von den drei inländischen Abfüllern sowie vom Fachverband IGA besteht der Inlandsmarkt zur Hälfte aus Spraydosen aus dem Ausland. Inländische Abfüller bedienen den heimischen Markt zur anderen Hälfte und exportieren ihrerseits weitere 50% ihrer Produktion. Per Saldo gelten daher im ZSE seit Jahren Verbrauch und Neuzugang als größengleich.

1. Verbrauch und Inlandsmarkt. Die Abschätzungen für inl. Markt und inl. Verbrauch zur Abfüllung stammen von jeweils denselben Experten. Diese beurteilen direkt die Tonnagen für 134a und 152a, die darum im ZSE nicht über die Zahl der Dosen und ihrer spez. Füllmengen errechnet werden müssen. Die Unsicherheit wird von uns für den inl. Markt mit 0,15 quantifiziert. So deutliche Abweichungen vom Schätzwert sehen wir nicht deshalb als notwendig an, weil die einzelnen Expertenmeinungen stark voneinander abweichen; das tun sie nicht. Vielmehr weist die Jahr für Jahr gegebene Schätzung konstanter 160 t HFKW-134a und 10 t HFKW-152a darauf hin, dass die Experten selber einen Daumenwert benutzen, der jährliche Schwankungen praktisch nicht berücksichtigt. Auch das novellierte UStatG kann für den inl. Markt keine präziseren Daten liefern, da es nur den inl. Verbrauch erhebt. Dieser weist eine geringere Unsicherheit (0,1) als der Markt auf, weil der Verbrauch ausschließlich aus Mengen der deutschen Abfüller selber besteht. Hinzu kommt, dass einer der Abfüller seine jährlichen HFKW-Verbrauchsdaten tonnengenau mitteilt.

2. Der Emissionsfaktor der Nutzung ist im Falle von Aerosolen per se 100% und weist daher keine Unsicherheit auf. Die berechnete Unsicherheit der Anwendungsemissionen ist daher identisch mit der Unsicherheit des inl. Markts.

3. Die Emissionen bei der Befüllung werden von den oben erwähnten Experten auf 1-2 % der Abfüllmenge geschätzt, und zwar "bei optimaler Einstellung der Anlagen". Wir leiten daraus eine Unsicherheit von 0,2 für den Befüll-Emissionsfaktor (bezogen auf 1,5% des Verbrauchs) ab. Die berechnete Unsicherheit der Befüllemmissionen ist die Kombination der Unsicherheiten von Verbrauch und EF.

24. Novelty-Sprays (HFKW-134a/-152a)

Die Dekorations- und Spaßprodukte werden ausschließlich aus dem europäischen Ausland importiert. Dies bedeutet, dass es weder inländischen Verbrauch noch Befüllemissionen gibt, wofür Unsicherheiten bestimmt werden müssten. Lediglich für die Aktivitätsrate "inländischer Markt" ist die Unsicherheit zu quantifizieren.

Die Datenlage für den Markt ist nicht besonders gut, was wegen des anstehenden Verbots dieser Produkte in naher Zukunft zwar keine Rolle mehr spielen wird, aber gegenwärtig noch bewertet werden muss. Für das Inland traut sich kein Branchenexperte eine vertretbare Markteinschätzung zu. Hilfsweise wird für das ZSE die EU-weite Befragung der europäischen Abfüller herangezogen, die vom Europäischen Verband FEA in größeren Abständen durchgeführt wird. Auf Basis dieser Befragung wird der deutsche Markt von den FEA-Experten auf einen Anteil zwischen 10 und 15 Prozent der EU-Produktion kalkuliert, und zwar sowohl für HFKW-134a als auch HFKW-152a.

Die Unsicherheit der EU-Erhebung wird von uns mit 0,1 beziffert; die des deutschen Marktanteils ist höher, wir schätzen sie auf knapp unter 0,2 (0,18). Die kombinierte Unsicherheit der Aktivitätsrate "inl. Markt" liegt daher rechnerisch bei etwa 0,2.

25. Autoreifen (SF₆)

Seit den 90er Jahren wurde SF₆ in Autoreifen gefüllt, um den Druck länger konstant zu halten. Beim Reifenwechsel, der im Durchschnitt alle drei Jahre stattfindet, entweicht das gesamte Gas in die Atmosphäre. Darum hat die EU-F-GaseVO diese Anwendung verboten. Der jährliche Verbrauch bzw. Neuzugang zur Reifenbefüllung wird gleichgesetzt mit der Menge, die der Gasehandel an Kfz-Werkstätten und Reifenhändler im gleichen Jahr liefert. Es wird angenommen, dass alles Gas bei der Reifendemontage drei Jahre nach Befüllung emittiert (Entsorgungsemissionen).

1. Verbrauch/Neuzugang. Die Daten zum inl. Neuzugang (= Verbrauch) stammen aus der jährlichen Befragung von fünf Unternehmen des Gasehandels durch Öko-Recherche. Die Händler melden ihre Verkaufsmengen für Kfz-Werkstätten und Reifenhändler. Die UN von Verkaufsdaten ist generell niedrig, sie liegt bei maximal 1% (0,01). Der höhere ZSE-Wert von 0,03 gründet auf der 2006 erstmals nach nov. UStatG durchgeführten SF₆-Erhebung bei allen Unternehmen des Gasehandels. Daraus geht hervor, dass zusätzlich zu den bisher befragten Gasehändlern noch ein weiterer im Geschäft mit SF₆ an Kfz-Werkstätten aktiv ist. Dessen Absatz macht allerdings nur 2,3% der Gesamtmenge aus. Um die bis 2005 um – wahrscheinlich – diesen Prozentsatz generell zu niedrige Verbrauchsmenge zu berücksichtigen, wurde die Unsicherheit der Verbrauchsdaten für das ZSE rückwirkend auf 0,03 gesetzt.

2. Entsorgungs-Emissionen. Es wird angenommen, dass das verbrauchte Gas im dritten Jahr vollständig im Inland emittiert (Emissionsfaktor der Entsorgung = 100%, keine UN). Mögliche Bestandsänderungen während der Lebensdauer (Fahrzeugexport) werden nicht berücksichtigt, so dass die UN des Bestands der UN des Verbrauchs gleich ist. Für die Entsorgungsmenge des Jahres $n + 3$ wird allerdings pauschal eine Unsicherheit von 0,1 angesetzt, um die Unsicherheit der Lebensdauer und damit des Emissionszeitpunkts zu berücksichtigen. Damit weichen

wir von den IPCC-GL 2006 (sowie GL-1999) ab, die empfehlen: "Default delay times in adiabatic property applications: 3 ± 1 year" (vol 3, 8.3.3), also UN von 0,33. Der Grund für unser Vorgehen liegt darin, dass wir für die Entsorgungsmengen im ZSE generell 0,1 verwenden. Dieser Wert ist vor allem für geschlossene Anlagen im Kälte-Klima-Bereich von Bedeutung, wofür die GL-2006 keine Empfehlungen geben.

26. Sportschuh-Sohlen (SF₆/FKW-218)

Für die Sohlen der Sportschuhe eines führenden Herstellers wird der gleiche adiabatische Effekt wie bei Autoreifen genutzt. Da auch hier alles Gas am Ende der Nutzungsdauer entweicht, wurde die Anwendung durch die F-GaseVO verboten. Bereits vorher hatte der Hersteller SF₆ in der Nutzung reduziert und für den nach seiner Auffassung noch nicht ersetzbarer Rest den FKW C₃F₈ verwendet, der ein etwas geringeres GWP hat, aber gleichfalls bei der Entsorgung gänzlich emittiert.

Die Sohlen werden ausschließlich im Ausland befüllt, so dass der inl. Bestand durch Import-Neuzugänge aufgebaut wird. Der jährliche Import nach Deutschland wird auf der Basis des EU-Marktes bestimmt, und zwar als 25-prozentiger Anteil daran. Die Unsicherheit des auf diese Weise berechneten Neuzugangs wird mit 0,15 bewertet. Bestandsänderungen während der Lebensdauer werden im ZSE nicht berücksichtigt, so dass die Unsicherheit der Bestände ebenfalls 0,15 beträgt.

Für die Entsorgungsmenge des Jahres $n + 3$ wird als zusätzliche Unsicherheit 0,1 angesetzt, um der Unsicherheit der Lebensdauer und damit des Emissionszeitpunkts Rechnung zu tragen¹⁴. Die so berechnete kombinierte Unsicherheit ist etwa 0,18.

¹⁴ Wie bei Autoreifen weichen wir von den IPCC-GL 2006 ab, die " 3 ± 1 year" empfehlen. Der Grund für unser Vorgehen liegt darin, dass wir für die Entsorgungsmengen im ZSE generell 0,1 verwenden.

V. Offene Anwendungen

Charakteristik. Offene haben mit halboffenen Anwendungen gemeinsam, dass die Emissionen vollständig sind (Emissionsfaktor 100%) und daher keine Unsicherheitsbestimmung benötigen. Die Emissionen sind aber nicht auf einen (vorübergehenden) Bestand bezogen, sondern sind unmittelbar identisch mit dem inländischen Verbrauch. Es gibt weder Bestands- noch Entsorgungsemissionen; begrifflich sind offene Emissionen am ehesten mit Herstellungs-Emissionen vergleichbar; tatsächlich werden sie, mangels Alternative, in der internationalen Berichterstattung nach CRF als solche behandelt. Da die Gesamtemissionen identisch mit dem Verbrauch sind, braucht nur dieser eine Unsicherheitsbestimmung.

Tab. 5 Quantifizierte Unsicherheiten von Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren, Emissionen – Offene Anwendung

	XPS	PU-Integral	Feuerlöschmitt.	Löse-mittel	Tracer-gas	Konden-sator	Mg-Guss	Alu-Reinig.	AWACS Radar
	152a	HFKW	236fa	43-10	SF ₆				
Verbrauch	± 0,02	± 0,1	± 0,01	± 0,02	± 0,2	± 0,06	± 0,015	± 0,01	± 0,14
Emission	= Verbr.	= Verbr.	= Verbr.	= Verbr.	= Verbr.	= Verbr.	= Verbr.*	= Verbr.*	= Verbr.

* Vorläufige Angabe. Zur Diskussion siehe Text.

27. XPS mit HFKW-152a

Anders als der HFKW-134a bleibt der HFKW-152a bei der XPS-Herstellung nicht im Produkt, sondern emittiert vollständig bei der Produktion (spätestens im Fabriklager). Sein Einsatznutzen besteht in der Erzeugung sehr feiner Schaumzellen, die nach Herstellerangaben die Dämmwirkung der Platten erhöhen. Die völlige Emission des HFKW reduziert die Unsicherheitsbestimmung auf den Verbrauch allein, denn der Emissionsfaktor 100% weist per se keine Unsicherheit auf. Der Neuzugang enthält keine HFKW mehr; darum gibt es keine Bestands- oder Entsorgungsemissionen.

Der Verbrauch von HFKW-152a durch inländische Hersteller wird von CEFIC zusammen mit dem Verbrauch von HFKW-134a erhoben und mitgeteilt. Die Unsicherheit ist daher die gleiche wie dort und beträgt 0,02.

28. PU-Integralschaum (HFKW-134a/-245fa/-365mfc)

Die Verhältnisse sind ähnlich wie bei XPS mit HFKW-152a, weil die Treibmittel bei Herstellung der offenzelligen Produkte vollständig emittieren. Das meistverwendete Treibmittel ist HFKW-134a. Seit 2002 werden unter gleichen Emissionsbedingungen auch HFKW-245fa und -365mfc benutzt. Wegen vollständiger Emission bei der Herstellung ist lediglich der Verbrauch in seiner Daten-Unsicherheit zu bestimmen.

Die Verbrauchsmenge von HFKW-134a und – seit 2002 – auch von HFKW-365mfc und - 245fa wird jährlich bei Experten des Marktführers Elastogran abgefragt, der die Verbräuche einschätzt. Die Unsicherheit dieser Daten zum Verbrauch der einzelnen HFKW-Treibmittel wird von uns auf 0,1 veranschlagt. Sollte in Zukunft das UStatG die Daten liefern, kann die Unsicherheit ev. geringer eingestuft werden.

29. Test des Feuerlöschmittels HFKW-236fa

Der offene Testverbrauch des Löschmittels HFKW-236fa durch die Bundeswehr wird gesondert von der Nutzung in Anlagen behandelt. Inl. Verbrauch zu Tests und Emissionen sind größengleich. Die Mengen sind sehr gering und haben sich in den vergangenen Jahren von 2,5 t auf nur noch 0,12 t pro Jahr vermindert. Der Verbrauch wird dennoch jährlich der Amtlichen Prüfstelle für Feuerlöschmittel gemeldet, welche die Information an das Umweltbundesamt weitergibt. Wegen der hohen Verlässlichkeit der behördlichen Daten wird die Unsicherheit mit lediglich 0,01 quantifiziert (gleicher Wert wie für den gemeldeten 236fa-Verbrauch in Anlagen).

30. Lösemittel (HFKW-43-10mee)

HFKW-Lösemittel vom Typ 43-10mee zur Oberflächenreinigung spielen in Deutschland keine große Rolle. Die restriktive Gesetzgebung gegenüber chlorierten und fluorchlorierten Vorläufersubstanzen hatte bereits vor der HFKW-Markteinführung die Entstehung einer breiten Palette von Alternativen befördert.

HFKW-Lösemittel werden ausschließlich importiert. Sie werden im Inland zwar nicht in offenen Behältnissen eingesetzt, aber doch so verwendet, dass sie spätestens nach einem Jahr vollständig emittiert sind. Der Emissionsfaktor bei der Nutzung beträgt daher 100%, wofür keine Unsicherheitsbestimmung nötig ist.

Es bleibt die Unsicherheitsbestimmung der Größe des Markts, der hier begrifflich mit gleichem Recht auch als Verbrauch betrachtet werden kann. Da es in Deutschland nur einen einzigen Lieferanten für das Lösemittel 43-10mee gibt, der seine jährlichen Absatzmengen für das ZSE (vertraulich) mitteilt, ist nur eine geringe Unsicherheit von 0,02 für den Markt/Verbrauch und damit die Emissionen zu veranschlagen.

31. Tracer-Gas (SF₆)

SF₆ wird als sehr gut nachweisbares Spurengas in Großforschungseinrichtungen und für die Untersuchung bodennaher und atmosphärischer Luftströmungen und Gasausbreitungen eingesetzt. Einsatzmenge (Verbrauch) und Emissionen sind identisch, da keine Rückgewinnung stattfindet.

Es gibt keine amtliche oder sonst verbindlich geführte Statistik über diesen Einsatzzweck. Daher werden Experten befragt. Im Jahr 1996 wurden erstmals die sechs wichtigsten deutschen Forschungseinrichtungen, die für Tracergas-Untersuchungen in Frage kamen, sowohl nach ihren eigenen Verwendungsmengen befragt als auch um eine Abschätzung des inl. Gesamteinsatzes gebeten. Das Ergebnis war recht einheitlich "seit 1990 konstant 400-500 kg/a". Das FZ Jülich, das etwa 50% der Gesamtmenge benutzt, wurde danach immer wieder um seine Schätzung der inländischen Gesamteinsatzmenge gebeten – mit dem Resultat, dass sich seit 1996 nichts an den Mengen geändert habe. Wegen des hohen Schätzanteils von Fremdverbrauch beziffern wir die Datenunsicherheit auf 0,2.

32. Starkstrom-Kondensatoren (SF₆)

Es gibt einen inl. Hersteller, der SF₆ zur Imprägnierung von Komponenten von Starkstromkondensatoren einsetzt. Es gelang ihm, durch Kreislaufführung den Gasverbrauch signifikant zu senken; dennoch emittiert der (reduzierte) Verbrauch gänzlich. Der Hersteller teilt die jährliche Menge dem Verband ZVEI mit. Die Unsicherheit wird vom ZVEI auf etwa 6% (0,06) geschätzt¹⁵. Im ZSE werden die Kondensatoren seit 2005 nicht mehr eigenständig, sondern unter "sonstigen Betriebsmitteln" der Energieübertragung und -verteilung mitgeführt.

33. Magnesium-Guss (SF₆/HFKW-134a)

In der Mehrzahl der deutschen Magnesiumgießereien wird als Schutzgas für die heiße Schmelze SF₆ genutzt. Wegen des SF₆-Verbots (ab 2008) in Gießereien mit Jahresverbrauch über 850 kg findet zurzeit eine Umstellung auf HFKW-134a statt.

Die Daten zum jährlichen Verbrauch werden direkt bei den Anwendern erfragt und mit den Lieferangaben des Gasehandels verglichen. Die SF₆-Erhebung nach UStatG hat die Übereinstimmung von Anwender- und Händlerdaten bestätigt, so dass nur eine geringe UN des Verbrauchs angenommen werden muss. Das gilt auch für den HFKW-134a, der bei Anwendern (ohne Kontrolle durch Händlerdaten) ermittelt wird.

Die neuen IPCC GL 2006 (vol 3, 4.5.3 Uncertainty assessment Magnesium casting Processes (Primary & Secondary)) sprechen die Unsicherheit von Verbrauchsdaten an: "There is a very low uncertainty associated with SF₆ use on a plant level, since SF₆ use is measured easily and accurately from purchase data. An uncertainty estimate of less than 5 percent is usually appropriate for directly reported data." Die maximal 5% werden auch schon in den GL 1999 genannt (vol 3, 3.4.1). Wir nehmen nur 1,5% (0,015) an, um Auf-/Abrundungen in den Angaben Rechnung zu tragen; das sind etwa 20 kg oder der halbe Inhalt einer Flasche.

Bisher nimmt das ZSE, in Übereinstimmung mit den IPCC-GL 1999, vollständige Emission des Schutzgases an; die Reaktion des Gases mit der heißen Oberfläche der Schmelze gilt als unbedeutend, zumindest wurde die Auffassung einiger Experten über eine nennenswerte Gaszersetzung nicht übernommen. Auch die neuen IPCC-GL 2006 haben den Emissionsfaktor nicht geändert, allerdings wird dort dessen Sicherheit mittlerweile angezweifelt. Es heißt in vol 3, 4.5.3: "There is also a level of uncertainty associated with the assumption that 100 percent of the SF₆ used is emitted" – so weit noch in Übereinstimmung mit den GL 1999. Jedoch weiter: "In a typical casting operation, the uncertainty in this assumption should be within 30 percent (Bartos et al., 2003)."

Daher schlagen wir vor, dass das ZSE die Unsicherheitsbestimmung (nicht den Emissionsfaktor selbst) anpasst. Die neue Unsicherheit ist asymmetrisch +0,0/-0,3, da der Emissionsfaktor nur geringer, nicht höher als 100% sein kann.

Die Emissionen weisen die kombinierte Unsicherheit von + 0,015/-0,3004 auf.

¹⁵ Johannes Stein, ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V., Fachverbände Energietechnik und Starkstromkondensatoren, Mitteilung an Öko-Recherche, 17. 9. 2007.

Dieser Vorschlag gilt nicht nur für SF₆, sondern auch für HFKW-134a (die IPCC-GL 2006 beziehen sich nur auf die Zersetzung von SF₆).

Aufgrund der hohen Übereinstimmung zwischen der Erhebung zum jährlichen Verbrauch durch Öko-Recherche und den Ergebnissen der amtlichen SF₆-Erhebung nach UStatG, die im Jahr 2007 parallel durchgeführt wurden, kann in Zukunft die Öko-Recherche-Erhebung unterbleiben. Es können dann direkt die Daten des Statistischen Bundesamts verwendet werden. Die Unsicherheitsbestimmung der Verbrauchswerte muss nicht geändert werden.

34. Aluminium-Reinigung (SF₆)

In Deutschland wird in bestimmte Aluminiumschmelzen SF₆ eingeleitet, um die Produktqualität zu erhöhen. Die Einsatzmenge wird jährlich von Herstellern erhoben und mit den Angaben des Gasehandels verglichen. Da die Mengen jeweils in ganzen Tonnen genannt werden, kommt Unsicherheit lediglich durch Auf-/Abrundung zu einer ganzen Tonne zustande, d.h. bis zu 500 kg. Dies entspricht gegenwärtig etwa 1% des Gesamtverbrauchs, dessen Unsicherheit somit 0,01 beträgt.

Die Emissionen werden bisher dem Verbrauch gleichgesetzt, so dass keine Notwendigkeit besteht, die Unsicherheit von Emissionsfaktoren zu bestimmen. Die vollständige Emission des Gases wird mittlerweile aus Herstellerkreisen bestritten, so dass die Datensicherheit der Emissionen (sowie die Emission selber) überprüft werden muss. Die IPCC-GL 2006 geben dazu keine Hinweise. Solange zwischen Umweltbundesamt und Herstellern kein Konsens über den Emissionsfaktor besteht, ist die Unsicherheitsbestimmung als vorläufig aufzufassen.

35. AWACS-Radar (SF₆)

Zur Sicherung vor elektrischen Überschlügen im Radarsystem wird in militärischen Aufklärungsflugzeugen vom Typ AWACS SF₆ in Behältern mitgeführt und zum Druckausgleich im Flug abgelassen. Die Wiederauffüllung emittiert vollständig, auch wenn das Gas eine gewisse Zeit im Behälter bleibt.

Der jährliche Verbrauch in Deutschland wird von den beiden Gasehändlern, die das SF₆ bereitstellen, direkt erfragt. Für diese Angaben muss keine Unsicherheit angenommen werden. Ein Teil des erworbenen SF₆ wird aber zu Standorten außerhalb Deutschlands weitergeliefert, so dass nur ein Teil, nämlich etwa 60%, im Inland verbraucht wird. Dieser Anteil, der den Inlandsverbrauch bestimmt, weist eine Unsicherheit von etwa 0,14 auf. Dieser Wert entspricht dem Standardwert für die Unsicherheit in den IPCC-GL 2006, nämlich ± 100 kg pro 740 kg durchschnittlichen Jahresverbrauchs pro Flugzeug. Siehe dort Table 8.7 in vol 3, 8.3.2.1.

VI. Produktion fluorierter Gase

Bei der großchemischen Herstellung fluorierter Treibhausgase emittieren geringe Teile des Produkts in die Atmosphäre. In Deutschland werden zurzeit folgende fluorierten Treibhausgase hergestellt: HFKW-134a, HFKW-227ea und SF₆. Außerdem findet die Produktion des HFCKW-22 statt, bei der HFKW-23 als Nebenprodukt entsteht und teilweise emittiert. In den Jahren 1990 bis 1994 fiel außerdem der FKW-12 (CF₄) als Nebenprodukt der FCKW-Herstellung an.

Die Daten zu Produktionsmenge sowie zu Produktionsemissionen fluorierter Treibhausgase werden jährlich vom einzigen inländischen Hersteller Solvay Fluor & Derivate GmbH dem Umweltbundesamt direkt mitgeteilt. Die Daten werden nicht publiziert, aber ins ZSE eingegeben. Die Unsicherheit der Angaben seit 1995 wird vom Hersteller wie folgt beziffert: Keine Unsicherheit für Produktionsmengen von HFKW-134a, HFKW-227ea und SF₆; Unsicherheit für alle Herstellemissionen 0,03. Die geringe Unsicherheit der Emissionsangaben wird mit der Zuverlässigkeit der angewandten Methode der Massenbilanzierung begründet (Mitteilung Solvay Fluor & Derivate GmbH (Ewald Preisegger) an Öko-Recherche, 13.07.2007).

Die gleiche Unsicherheit von 0,03 wird von Solvay für die Emissionen des HFKW-23 als Nebenprodukt der Synthese des HFCKW-22 angegeben.

Die IPCC-GL-2006 schlagen für die Emissionen aus der Produktion fluorierter Verbindungen im Tier-3-Ansatz (dem Solvay's Verfahren entspricht) keine Standard-Unsicherheiten vor; vielmehr soll die UN individuell bestimmt werden¹⁶ (vol 3, 3.10.2.3).

Lediglich für den HFKW-23 nehmen die IPCC-GL-2006 (wie schon die GL-1999) im Tier-3-Ansatz, dem Solvay's Massenbilanzierung weitgehend entspricht, eine maximale Genauigkeit von "1-2% bei einem Vertrauensintervall von 95%" an (vol 3, 3.10.1.3); das ist geringfügig weniger als die Solvay-Angabe für Deutschland (0,03).

Für die Jahre vor 1995, nämlich im Falle von SF₆ von 1990 bis 1994, im Falle von HFKW-134a im Jahr 1994, ist die Unsicherheit höher, weil die Daten auf Rück-Schätzungen beruhen. Wir schätzen (in Einvernehmen mit Solvay) die Unsicherheit sowohl der Produktionsmengen als auch der Emissionsfaktoren auf jeweils 0,07, so dass sich für die Emissionen die kombinierte Unsicherheit von 0,1 ergibt.

Die gleiche kombinierte Unsicherheit von 0,1 wenden wir auf die Emissionen von CF₄ (FKW-14) an, die in den Jahren 1990 bis 1994 als Nebenprodukt der FCKW-Herstellung an drei deutschen Standorten entstanden sind. Die Produktionsdaten im ZSE beziehen sich hier auf die FCKW. Wir haben diese Mengen selber nachträglich im Rahmen einer UBA-Studie ermittelt (Öko-Recherche 2007c).

¹⁶ Die GL-1999 hatten für SF₆ eine Unsicherheitsangabe gemacht, nämlich 0,2% (vol 3, 3.5.3)

VII. Halbleiterindustrie und Leiterplattenfertigung

Halbleiterproduktion (und Leiterplattenfertigung) nehmen in dieser Studie eine gewisse Sonderstellung ein, weil sie nicht leicht in die gegebene Systematik einzuordnen sind. Die Anwendung Halbleiterfertigung kann nicht als geschlossen bezeichnet werden, weil sich die fluorierten Ätz- und Kammerreinigungsgase nur kurze Zeit in einer Reaktionskammer befinden und daraus teils zersetzt, teils unzersetzt (oder rekombiniert) freigesetzt werden, bevor sie einer Abgasanlage zugeführt werden. Wegen der partiellen Umsetzung in der Kammer kann die Anwendung nicht als offen bezeichnet werden wie etwa SF_6 beim Magnesiumgießen, aber auch nicht als halboffen (= zeitverzögerte Totalemission) wie etwa Aerosolanwendungen. Darum werden die Halbleiter- und die Leiterplattenherstellung in dieser Studie in einem gesonderten Kapitel behandelt.

36. Halbleiter

Aufgrund einer freiwilligen Zusage der deutschen Halbleiterindustrie werden die Verbrauchs- und Emissionsdaten jährlich vom ZVEI, Fachverband Bauelemente, erhoben und ausgewertet. Die Berechnung erfolgt nach der vom World Semiconductor Council (WSC) benutzten Formel. Der ZVEI teilt dem Umweltbundesamt nicht die der Emissionsberechnung zu Grunde liegenden Daten mit, sondern die fertigen Daten zu den Emissionen der einzelnen F-Gase. Der Verantwortliche im ZVEI schätzt die Unsicherheit der Emissionsangaben selber auf "etwa sieben Prozent". Diesen Wert übernehmen wir für das ZSE – allerdings nur für die Unsicherheit nach unten. Nach oben muss die Unsicherheit über die 7% hinaus erhöht werden. Denn der Erfassungsgrad der deutschen Halbleiterhersteller wird vom ZVEI auf etwa 90% geschätzt - der eingesetzten Gasmenge nach. Das bedeutet, dass die Emissionen etwa 10% über der ZVEI-Schätzung liegen können. Darum nehmen wir, in Einvernehmen mit dem ZVEI, als Unsicherheit nach oben zusätzlich 0,1 zu den 0,07 an (Mitteilung ZVEI (Dr. Dietrich) an Öko-Recherche, 16.08.2007). Die kombinierte Unsicherheit nach oben beträgt daher 0,122.

Die IPCC-GL 1999 enthalten noch keine Hinweise auf Unsicherheiten. Dagegen schenken die GL-2006 dem Thema große Beachtung (vol 3, 6.3). Allerdings sind die für Tier 2a/2b (diese Ansätze kommen der ZVEI-Berechnung am nächsten) vorgeschlagenen Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für das ZSE praktisch unbrauchbar, da die Angaben meist zwischen 100 und 300% schwanken. Lediglich beim Tier-3-Ansatz wird eine Unsicherheit der Emissionen von – unserer Meinung nach eher realistischen - 0,3 (30%) für möglich erachtet.

Wir schlagen vor, dass das ZSE den Herstellerangaben (ZVEI) folgt.

37. Leiterplattenreinigung

Der Prozess der Bohrlochreinigung von Leiterplatten ist technisch mit der Halbleiterfertigung vergleichbar. Der PFC-14 (CF_4) wird in Durchlaufanlagen zum Ätzen im Plasma genutzt. Die jährlichen Verbrauchsdaten werden vom Gaslieferanten Linde sowie dem führenden Anlagenhersteller Tepla AG erfragt. Die Angaben weisen eine Ungenauigkeit auf, die wir auf 0,15 schätzen. Der Emissionsfaktor ist der gleiche wie bei der Halbleiterfertigung; seine Unsicherheit wird von uns mit 0,05 quantifiziert.

Tabellen-Anhang

Tab. 1 Quantifizierte Unsicherheiten von Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren, Emissionen – Geschlossene Systeme mit zusammengesetzter Aktivitätsrate I

	Wärmep	Stat AC	Raumkl	Industrie	Gewerbe	Kühlcont	Kühlfahrz
Stückzahl	± 0	± 0,1	± 0,06	± 0,175	± 0,175	± 0,03	± 0,0
KM-Split	± 0,05	± 0,05	± 0,07	± 0,07	± 0,07	± 0,05	± 0,1
Füllmenge	± 0,1	± 0,05	± 0,05	± 0,07	± 0,07	± 0,06	± 0,1
Neuzugang	ber.	ber.	ber.	ber. (± 0,2)	ber. (± 0,2)	ber.	ber.
Verbrauch	= Neuz.	= Neuz.	-	= Neuz.	= Neuz.	-	wie Neuz.
Bestand	= Neuz.	= Neuz.	= Neuz.	= Neuz.	= Neuz.	= Neuz.	= Neuz.*
Ents.Menge	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1
EF _{Bestand}	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,14	± 0,14	± 0,1	± 0,1
EF _{Befüllung}	+0,5/-0	+0,5/-0	na	± 0,5	± 0,5	na	+0,5/-0
EF _{Entsorg}	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2
Emissionen	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.

Erläuterung: In den Tabellen bedeutet "ber." berechnet, was heißt, dass die entsprechenden Unsicherheiten aus den Unsicherheiten vorstehender unabhängiger Daten abgeleitet sind.

* Die Unsicherheit des Bestands ist bei Kühlfahrzeugen nur nach oben gleich derjenigen des Neuzugangs. Nach unten schließt sie zusätzlich die prozentuale Differenz zwischen den Bestandszahlen des ZSE und KBA ein.

Tab. 2 Quantifizierte Unsicherheiten von Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren, Emissionen – Geschlossene Systeme mit zusammengesetzter Aktivitätsrate II

	Pkw	Nfz	Bus	Landmasch	Schiene	Schiffe
Stückzahl	± 0,005	± 0	± 0	± 0,01	± 0,04	± 0,1
AC-Quote	± 0,01	± 0,05	± 0,05	± 0,05	± 0	± 0
Füllmenge	± 0,01	± 0,05	± 0,05	± 0,06	± 0,03	± 0,06
Neuzugang	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.
Verbrauch	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.
Bestand	= Neuz.*	= Neuz.*	= Neuz.*	= Neuz.	= Neuz.	= Neuz.
EntsMenge	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1
EF _{Bestand}	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,15	± 0,1	± 0,2
EF _{Befüllung}	+ 0,3/- 0	± 0,2	± ,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2
EF _{Entsorg}	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2
Emissionen	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.	ber.

* Die UN des Bestands ist bei Straßenfahrzeugen nur "nach oben" gleich derjenigen des Neuzugangs. Nach unten schließt sie zusätzlich die prozentuale Differenz zwischen den Bestandszahlen des ZSE und KBA ein. Außerdem ist zu beachten, dass hier Stückzahlen und AC-Quoten für den Verbrauch andere sind als die Stückzahlen des Neuzugangs.

Tab. 3 Quantifizierte Unsicherheiten von Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren, Emissionen – Geschlossene Systeme mit einfacher Aktivitätsrate

	PU Hartsch.	XPS	Hausgeräte	Feuerlöschmittel	Schaltanlagen	Teilchenbeschl	Schallschutz
	134a/245/365	134a	134a	227ea/236fa	SF ₆	SF ₆	SF ₆
Verbrauch	± 0,1	± 0,02		± 0,01	± 0,06	n.e.	± 0,03
Exportquote		± 0,04					
EF _{Herstellung}	+0,1	± 0,02	n.a.	± 0,25	n.a.	n.e.	± 0,1
EM _{Herstellung}	ber.	ber.	n.a.	ber.	± 0,1	n.e.	ber.
Mkt/NZG/EB/MB	= Verbr	ber.	± 0,1	= Verbr	= Verbr	± 0,1	± 0,058
EF _{Bestand}	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,1 (236)	± 0,06*	± 0,17	± 0,1
EM _{Bestand}	ber.	ber.	ber.	± 0,05 (227)	± 0,1	ber.	ber.
Ents.-Menge	n.e.	n.e.	± 0,1	± 0,1	± 0,06	n.e.	± 0,1
EF _{Entsorgung}	n.e.	n.e.	± 0,2	± 0,2	± 0,08	n.e.	± 0 (100%)

* Gilt für die Hochspannung. In der Mittelspannung gleich Neuzugang.

Abkürzungen: n.e. = nicht ermittelt; n.a. = nicht anwendbar.

Tab. 4 Quantifizierte Unsicherheiten von Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren, Emissionen – Halboffene Systeme

	Montagesch.	Dosieraeros	Allg Aerosol	Novelties	Reifen	Sohlen
	134a/152a	134a/227ea	134a/152a	134a/152a	SF ₆	SF ₆ /FKW 218
Dosenzahl	± 0,1					
HFKW/Dose	± 0,05					
HFKW-Split	± 0,05					
Verbrauch	ber.	ber. (± 0,01)	± 0,1	n.a.	± 0,03	
EF _{Befüllung}	± 0,2	± 0,1	± 0,2	n.a.	n.e.	
EM _{Befüll}	ber.	ber.	ber.	n.a.	n.e.	
Inl. Markt	ber.	± 0,03	± 0,15	ber.*	= Verbr.	± 0,15
EF _{Anwendung}	± 0 (100%)	± 0 (100%)	± 0 (100%)	± 0 (100%)	n.e.	n.e.
EM _{Anwendung}	= inl. Mkt	= inl. Mkt	= inl. Markt	= inl. Mkt	n.e.	n.e.
Ents.Menge					0,1	0,1
EF _{Entsorgung}					± 0 (100%)	± 0 (100%)
EM _{Entsorgung}					ber.	ber.

* Berechnung aus UN des EU-Markts (0,1) und UN des dt. Anteils am EU-Markt (0,18).

Tab. 5 Quantifizierte Unsicherheiten von Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren, Emissionen – Offene Anwendung

	XPS	PU-Integral	Feuerlöschmitt.	Lösemittel	Tracer-gas	Kondensator	Mg-Guss	Alu-Reinig.	AWACS Radar
	152a	HFKW	236fa	43-10	SF ₆				
Verbrauch	± 0,02	± 0,1	± 0,01	± 0,02	± 0,2	± 0,06	± 0,015	± 0,01	± 0,14
Emission	= Verbr.	= Verbr.	= Verbr.	= Verbr.	= Verbr.	= Verbr.	= Verbr.*	= Verbr.*	= Verbr.

* Vorläufige Angabe. Zur Diskussion siehe Text.

Tab. 6 Quantifizierte Unsicherheiten von Aktivitätsraten und, Emissionen – Produktion HFKW, SF₆, HFCKW-22 und FCKW – Halbleiter und Leiterplatten

	HFKW/SF ₆ seit 1995	SF ₆ /FCKW 1990-1994	HFKW 23 v. HFCKW-22	Halbleiter	Leiterplatten
Verbrauch					± 0,15
EF _{Herstellung}					± 0,05
Emission	± 0,03	± 0,1	± 0,03	+ 0,07/- 0,122	ber.

Anhang

Bestandsunsicherheit nach unten bei Straßenfahrzeugen

Die Unsicherheit des Bestands ist bei Straßenfahrzeugen nur "nach oben" gleich derjenigen des Neuzugangs. Nach unten schließt sie zusätzlich die prozentuale Differenz zwischen den Bestandszahlen des ZSE und des Kraftfahrtbundesamts ein.

Nachfolgend wird anhand von Tabellen und Grafiken für die vier Kategorien von Straßenfahrzeugen Kühlfahrzeuge, Lkw, Pkw und Busse dargestellt, wie weit in den einzelnen Berichtsjahren die Bestandsdaten des ZSE von denen des KBA abweichen. Der prozentuale Unterschied wird im ZSE herangezogen, um die spezifische Unsicherheit des Bestands "nach unten" festzusetzen, die aus dem realen Bestandsschwund durch Gebrauchsfahrzeug-Export resultiert. Je höher die Differenz zwischen ZSE- und KBA-Daten ist, desto größer ist die Unsicherheit der Angaben des ZSE "nach unten". "Nach oben" ist zusätzlich zur Unsicherheit des Neuzugangs keine weitere Unsicherheit des Bestands zu berücksichtigen, weil diese Art von Bestandsveränderung nur in die andere Richtung – nach unten – erfolgt.

Mangels spezieller Daten des KBA zu Kühlfahrzeugen werden für den KBA-Bestand (effektiver und Summe der Neuzulassungen) allgemeine Lkw herangezogen. Dieses Vorgehen halten wir für berechtigt, da sich nach u. E. der Gebrauchtwagen-Export von Kühlfahrzeugen nur unwesentlich von dem allgemeiner Lkw unterscheidet.

Bei Pkw, Lkw und Bussen wird generell angenommen, dass die Bestandsentwicklung klimatisierter Fahrzeuge derjenigen aller Fahrzeuge entspricht.

Erläuterung der Tabellen und Grafiken

Die Spalte "KBA-Bestand" zeigt für jedes Berichtsjahr (links außen) den effektiven Bestand (KBA) der seit der Einführung der HFKW neu zugelassenen Fahrzeuge im Verhältnis zu der Gesamtheit der vom Einführungsjahr bis zum Berichtsjahr wirklich neu zugelassenen Fahrzeuge. Der Unterschied drückt im Wesentlichen den Gebrauchtwagenexport aus. Der Prozentsatz ist im ersten Jahr definitionsgemäß 100%, weil die neu zugelassenen Fahrzeuge noch vollständig im aktiven Bestand sind. Das Einführungsjahr von HFKW-Systemen ist bei Kühlfahrzeugen, Lkw und Bussen das Jahr 1993 (Berichtsjahr 1994), bei Pkw ist es 1991 (Berichtsjahr 1992).

Die Spalte ZSE-Bestand zeigt für jedes Berichtsjahr den Bestand der seit Einführung der HFKW neu zugelassenen Fahrzeuge im ZSE als Saldo von – unverändert bleibenden - Neuzugängen und Abgängen. Dieser Bestand wird ebenfalls auf die Gesamtheit der vom Einführungsjahr bis zum Berichtsjahr wirklich (d.h. lt. KBA) neu zugelassenen Fahrzeuge bezogen. Das prozentuale Verhältnis ist vor dem ersten Entsorgungsjahr des ZSE (HFKW-Einführungsjahr plus Lebensdauer in Jahren) definitionsgemäß 100%, weil das ZSE keine Abgänge außer durch Entsorgung kennt. Erst nach Ende der Lebensdauer scheidet erstmals ein Jahrgang der seit 1994 zugelassenen Fahrzeuge aus. Die mittlere Lebensdauer im ZSE ist für Lkw und Kühlfahrzeuge 10 Jahre, für Pkw und Busse 12 Jahre.

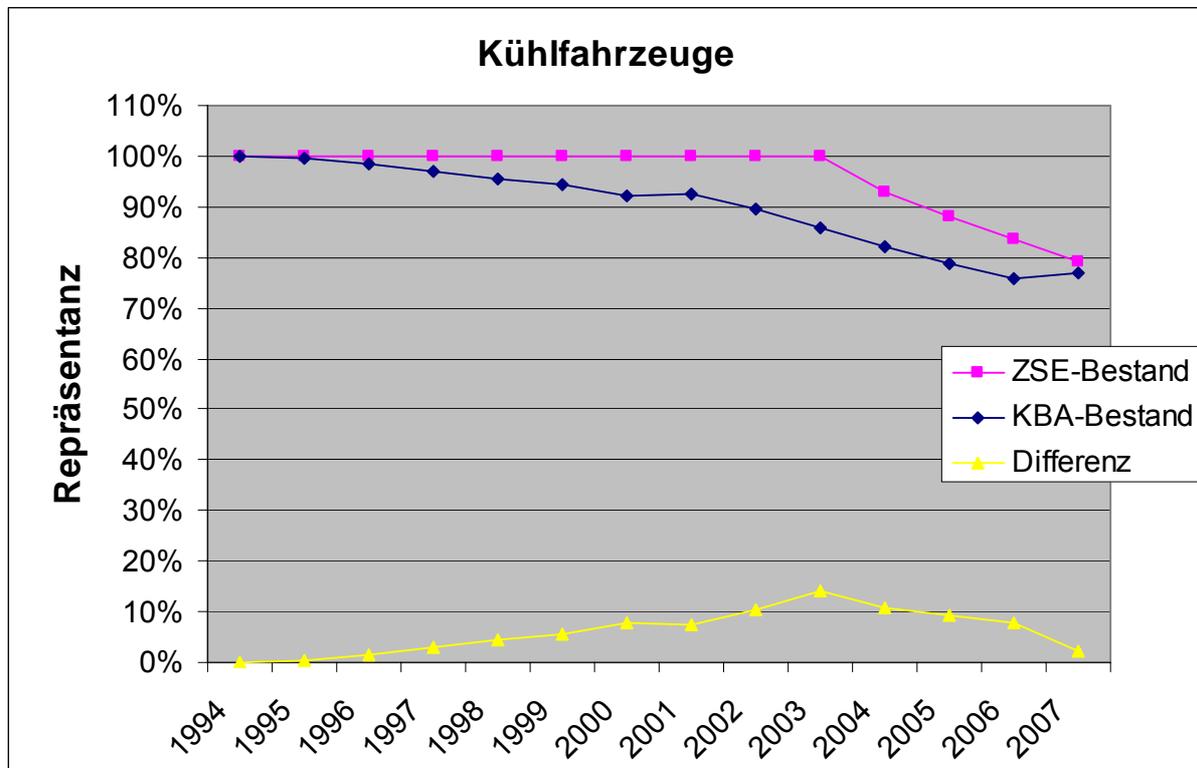
Die Spalte "Differenz" drückt den jährlichen Unterschied zwischen dem KBA-Bestand und dem ZSE-Bestand aus. Diese Differenz ist die spezifische Unsicherheit "nach unten" für den Bestand im ZSE.

1. Kühlfahrzeuge

Berichtsjahr	KBA-Bestand*	ZSE-Bestand**	Differenz
1994	100,0%	100%	0,0%
1995	99,5%	100%	0,5%
1996	98,5%	100%	1,5%
1997	97,1%	100%	2,9%
1998	95,7%	100%	4,3%
1999	94,4%	100%	5,6%
2000	92,2%	100%	7,8%
2001	92,4%	100%	7,6%
2002	89,5%	100%	10,5%
2003	85,8%	100%	14,2%
2004	82,1%	93%	10,8%
2005	78,8%	88%	9,3%
2006	75,8%	84%	7,7%
2007	76,8	79%	2,3%

*Anteil der im Berichtsjahr in Deutschland noch angemeldeten Lkw seit Zulassungsjahr 1993 an der Gesamtheit aller Neuzulassungen seit 1993.

**Anteil des im ZSE geführten Kühlfahrzeug-Bestands in einem Berichtsjahr an der Gesamtheit aller Lkw-Neuzulassungen (nach KBA) seit 1993. Eine KBA-Statistik der Altersstruktur der Kühlfahrzeuge liegt nicht vor. Darum werden die Kühlfahrzeuge im ZSE hilfsweise auf die allgemeinen Lkw bezogen.



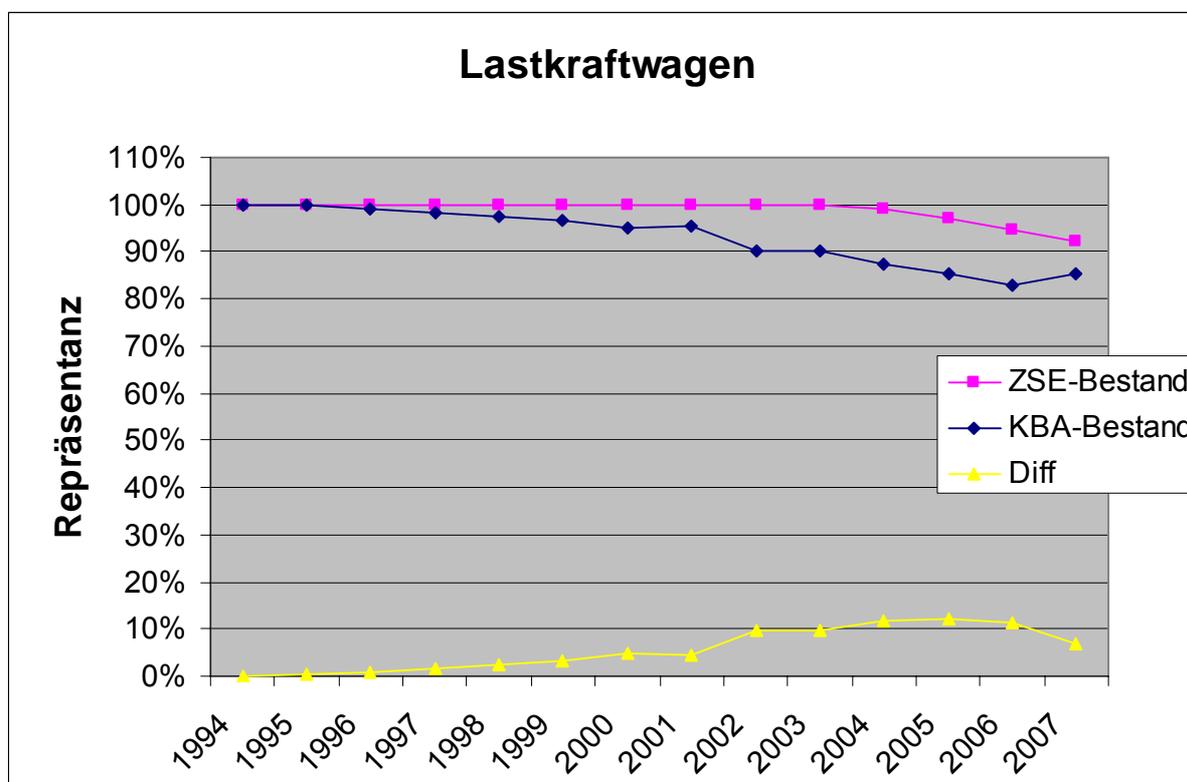
Die grafische Darstellung zeigt, dass die Differenz zwischen ZSE-Bestand (Kühlfahrzeuge) und KBA-Bestand (Lkw) nur 2002-2004 mehr als 10% betrug. Seit 2003 geht sie wieder zurück.

2. Lastkraftwagen

Berichtsjahr	KBA-Bestand*	ZSE-Bestand**	Differenz
1994	100,0%	100%	0,0%
1995	99,8%	100%	0,2%
1996	99,2%	100,0%	0,8%
1997	98,3%	100,0%	1,7%
1998	97,5%	100,0%	2,5%
1999	96,7%	100,0%	3,3%
2000	95,1%	100,0%	4,9%
2001	95,4%	100,0%	4,6%
2002	90,3%	100,0%	9,7%
2003	90,3%	100,0%	9,7%
2004	87,5%	99,2%	11,7%
2005	85,2%	97,2%	12,0%
2006	83,0%	94,5%	11,4%
2007	85,3%	92,3%	7,0%

*Anteil der im Berichtsjahr in Deutschland noch angemeldeten Lkw seit Zulassungsjahr 1993 an der Gesamtheit aller Neuzulassungen seit 1993.

**Anteil des im ZSE geführten Lkw-Bestands in einem Berichtsjahr an der Gesamtheit aller Lkw-Neuzulassungen seit 1993.



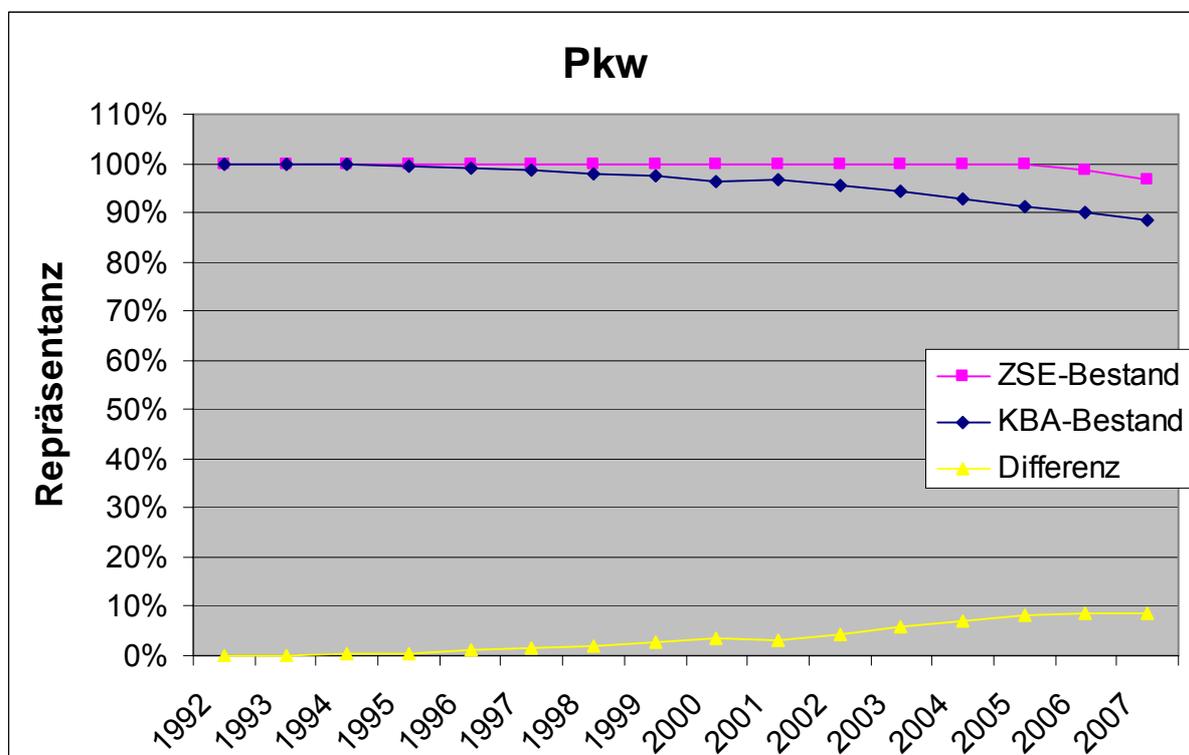
Die grafische Darstellung zeigt, dass die Differenz zwischen ZSE-Bestand und KBA-Bestand nur 2004-2006 mehr als 10% betrug. Seit 2005 geht sie wieder leicht zurück.

3. Pkw

Berichtsjahr	KBA-Bestand*	ZSE-Bestand**	Differenz
1992	100,0%	100,0%	0,0%
1993	99,8%	100,0%	0,2%
1994	99,7%	100,0%	0,3%
1995	99,5%	100,0%	0,5%
1996	99,0%	100,0%	1,0%
1997	98,6%	100,0%	1,4%
1998	97,9%	100,0%	2,1%
1999	97,4%	100,0%	2,6%
2000	96,4%	100,0%	3,6%
2001	96,8%	100,0%	3,2%
2002	95,7%	100,0%	4,3%
2003	94,3%	100,0%	5,7%
2004	92,9%	99,9%	7,0%
2005	91,4%	99,7%	8,3%
2006	90,2%	98,6%	8,5%
2007	88,3%	96,8%	8,4%

*Anteil der im Berichtsjahr in Deutschland noch angemeldeten Pkw seit Zulassungsjahr 1991 an der Gesamtheit aller Neuzulassungen seit 1991.

**Anteil des im ZSE geführten Pkw-Bestands in einem Berichtsjahr an der Gesamtheit aller Zulassungen seit 1991.



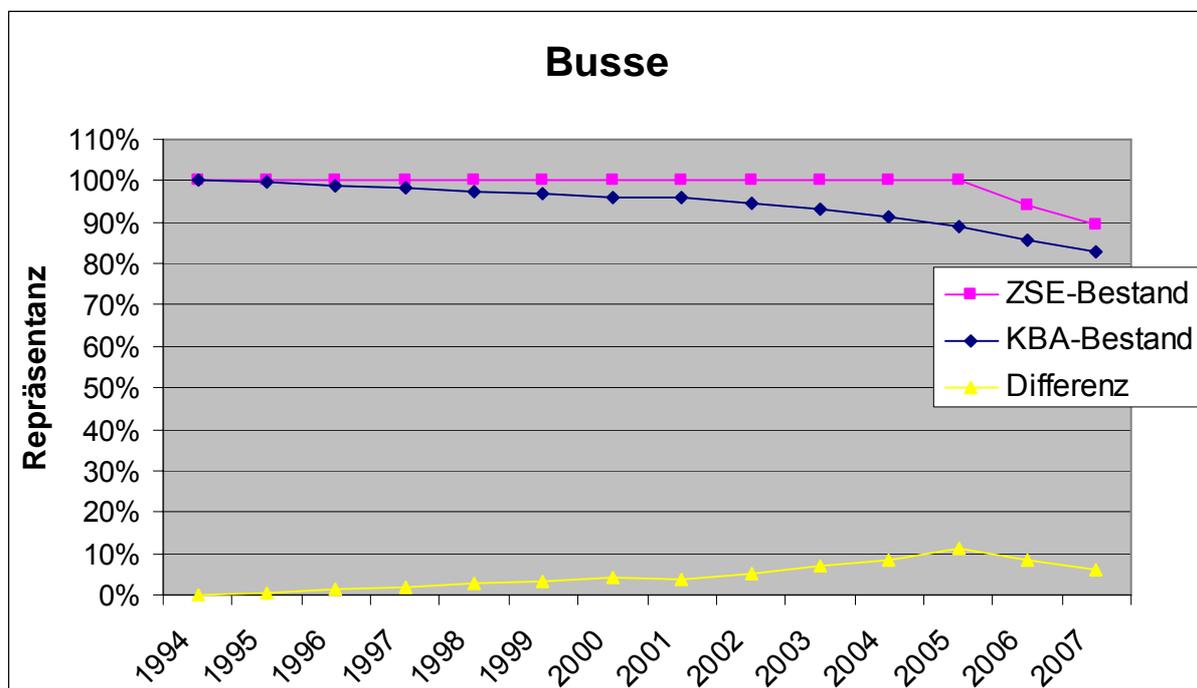
Die grafische Darstellung zeigt, dass die Differenz zwischen ZSE-Bestand und KBA-Bestand stets weniger als 10% betrug, mit dem Höchstwert 8,5% (2006). Seit 2006 sinkt die Differenz wieder leicht.

4. Busse

Berichtsjahr	KBA-Bestand*	ZSE-Bestand**	Differenz
1994	100,0%	100%	0,0%
1995	99,7%	100%	0,3%
1996	98,7%	100%	1,3%
1997	98,3%	100%	1,7%
1998	97,4%	100%	2,6%
1999	96,8%	100%	3,2%
2000	96,0%	100%	4,0%
2001	96,0%	100%	4,0%
2002	94,8%	100%	5,2%
2003	93,2%	100%	6,8%
2004	91,5%	100%	8,5%
2005	88,7%	100%	11,3%
2006	85,6%	94%	8,4%
2007	83,0%	89%	6,3%

*Anteil der im Berichtsjahr in Deutschland noch angemeldeten Busse seit Zulassungsjahr 19931 an der Gesamtheit aller Neuzulassungen seit 1993.

**Anteil des im ZSE geführten Busbestand in einem Berichtsjahr an der Gesamtheit aller Zulassungen seit 1993.



Die grafische Darstellung zeigt, dass die Differenz zwischen ZSE-Bestand und KBA-Bestand nur 2005 über 10% lag (11,3%). Seitdem sinkt die Differenz wieder.

Studien von Öko-Recherche in Teil II Unsicherheitsbestimmung

- Öko-Recherche 2001: Emissionen des Kältemittels R 134a aus mobilen Klimaanlage. Jährliche Emissionsraten von bis zu sieben Jahre alten Pkw-Klimaanlagen, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, September 2001. <http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2082.pdf>
- Öko-Recherche 2003: Establishing the Leakage Rates of Mobile Air Conditioners. (B4-3040/2002/337136/MAR/C1) Prepared for the European Commission (DG Environment). Mit Jochen Harnisch (Ecofys). April 2003. http://europa.eu.int/comm/environment/climat/pdf/leakage_rates_final_report.pdf.
- Öko-Recherche 2004, Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002. Anpassung an die Anforderungen der internationalen Berichterstattung und Implementierung der Daten in das zentrale System Emissionen (ZSE), Studie für das Umweltbundesamt, FKZ 201 41 261/01, Frankfurt, April 2004. Texte 14/05. Berlin/Dessau Juni 2005. <http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2902.pdf>.
- Öko-Recherche 2007a: Establishing the leakage rates of mobile air conditioners in heavy duty vehicles (070501/2005/422963/MAR/C1). For the European Commission (DG Environment), part I trucks. Brussels 2007
- Öko-Recherche 2007b: Establishing the leakage rates of mobile air conditioners in heavy duty vehicles (070501/2005/422963/MAR/C1). For the European Commission (DG, Environment), part II buses, Brussels 2007.
- Öko-Recherche 2007c: Daten von H-FKW, FKW und SF₆ für die nationale Berichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für die Berichtsjahre 1991 bis 1994 sowie Rekalkulation der Daten für 1990 bis 2003, Im Auftrag des Umweltbundesamts, FKZ 205 41 106, Februar 2007.
- Öko-Recherche 2007d: The analysis of the emissions of fluorinated greenhouse gases from refrigeration and air conditioning equipment used in the transport sector other than road transport and options for reducing these emissions (07010401/2006/445124/MAR/C4). For the European Commission (DG Environment), 30 September 2007.