

Texte

14
05

ISSN
0722-186X

Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorier- ten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002

**Umwelt
Bundes
Amt**



Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 201 41 261/01
UBA-FB 000811



**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)**

von

Dr. Winfried Schwarz

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

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.umweltbundesamt.de>
verfügbar.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06844 Dessau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 1.4
Katja Schwaab

Berlin, Juni 2005

Berichts - Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts		
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)		
5. Autoren, Namen, Vornamen	8. Abschlussdatum 08.03.2004	
	9. Veröffentlichungsdatum März 2004	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)	10. UFOPLAN - Nr. 201 41 261/01	
	11. Seitenzahl XII + 277	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)	12. Literaturangaben	
	13. Tabellen und Diagramme 150	
	14. Abbildungen 1	
15. Zusätzliche Angaben: Die Studie ist auch auf Englisch vorhanden.		
16. Kurzfassung		
Vor ihrer Aufnahme ins Klimaschutzprotokoll von Kioto im Jahre 1997 erweckten die fluorierten Treibhausgase HFKW, FKW und SF₆ (F-Gase) noch wenig Aufmerksamkeit. Seitdem sind jedoch die Ansprüche an die Erhebung und Berichterstattung ihrer nationalen Emissionen erheblich gestiegen. Für die Berichterstattung an das UNFCCC-Sekretariat sind z.B. jährlich umfangreiche Angaben in vorgegebenen Formaten (common reporting format = CRF) zu melden. Wissenschaftlich formuliert werden diese Ansprüche durch die UNFCCC guidelines on reporting, die wiederum dem IPCC good practice guidance folgen. In Deutschland wird zudem mit dem Zentralen System Emissionen (ZSE) ein Werkzeug geschaffen, welches ermöglicht, allen geforderten Anforderungen an die Qualität von Aktivitätsdaten wie von Emissionsfaktoren zu genügen. Das bedeutet, Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren müssen ab 1995 in jedem einzelnen Anwendungssektor in ihrem Zustandekommen und ihren Berechnungsgrundlagen nachvollziehbar und transparent dokumentiert und für die Aufnahme in das ZSE präpariert werden. Ziel der vorliegenden Studie ist es, für 40 nationale Anwendungssektoren von F-Gasen für die Zeit von 1995 bis 2002 diese erforderliche Transparenz herzustellen. • Erstens werden sowohl alle Aktivitätsdaten als auch die sich darauf beziehenden Emissionen selbst in Zeitreihen präsentiert und kommentiert: für Herstellung, Bestand in Produkten und Anlagen sowie Außerbetriebnahme. • Zweitens werden die den Emissionen zu Grunde liegenden Berechnungsverfahren ausführlich dargestellt. Alle Informationsquellen (Literatur, Experten aus Anwendung, Herstellung, Handel, Wissenschaft) werden offen gelegt. • Drittens werden Sicherheit und Aktualität der Daten erörtert. • Viertens werden ev. Abweichungen von den IPCC-Standardwerten festgestellt und begründet. Wo die intensive Überprüfung von 40 Sektoren durch acht Berichtsjahre hindurch Lücken oder Unstimmigkeiten aufdeckt, gestattet die Einrichtung der sog. Rekalkulation ihre nachträgliche Korrektur.		
17. Schlagwörter		
Fluorierte Treibhausgase; F-Gase; Berichterstattung; CRF, ZSE; Aktivitätsdaten; Emissionsfaktoren; HFKW, FKW; SF ₆ ; UNFCCC; IPCC Good Practice Guidance		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Emissions, Activity Data, and Emission Factors of Fluorinated Greenhouse Gases (F-Gases) in Germany 1995-2002. Adaptation to the Requirements of International Reporting and Implementation of Data into the Centralised System of Emissions (ZSE) (In German)		
5. Authors, Family Names, First Names Dr. Winfried Schwarz	8. Report Date 08.03, 2004 9. Publication Date March 2004	
6. Performing Organization (Name, Address) Öko-Recherche, Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH, Kaiserstr. 61, D-60329 Frankfurt am Main	10. UFOPLAN - Ref. No. 201 41 261/01 11. No. of Pages XII + 277	
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (German Federal Environmental Agency), Bismarckplatz 1, D-14193 Berlin	12. No. of References 13. No. of Tables 150 14. No. of Figures 1	
15. Supplementary Notes A full-length English version of this report is available at the sponsoring agency.		
16. Abstract Before the 1997 Kyoto Protocol on Climate Protection, the fluorinated greenhouse gases HFCs, PFCs, and SF₆ (F-gases) aroused little public attention. Since then, the standards on surveying and reporting on national emissions have been rising constantly. Amongst others, the annual reporting to the UNFCCC secretariat makes detailed declarations on use and emissions of F-gases necessary, which have to be filled in specified formats for submission (Common Reporting Format = CRF). The scientific basis has been set out by the UNFCCC guidelines on reporting, in accordance with the instructions laid down in IPCC good practice guidance. Additionally, in Germany the Centralised System of Emissions (ZSE) shall provide a suitable tool to satisfy any quality needs of both activity data and emission factors. From 1995 onwards, activity data and emissions of each individual application sector shall be presented in a comprehensible and transparent way. Therefore, the way of data collection as well as the estimation methods applied must be well documented. Moreover, data has to be prepared for appropriate importation into ZSE. It is the objective of this study to provide the transparency demanded within 40 national application sectors of F-gases, for the period between 1995 and 2002. • Firstly, all the activity data as well as the emissions related to them are presented and commented. This applies to the manufacturing of products, F-gases banked in operating systems, and decommissioning. • Secondly, the methodologies applied to calculate the emissions are described and all sources of information are revealed, e.g. literature, names of experts from the manufacturing industry, users, trade, and academia. • Thirdly, reliability and safety of data are discussed. • Fourthly, possible deviations from the IPCC default values are stated and given reasons for. Wherever this intensive reviewing of 40 sectors through eight years of reporting uncovers gaps or inconsistencies in previous reports, later corrections can be made by means of recalculations.		
17. Keywords Fluorinated Greenhouse Gases; Emissions; Reporting; CRF, ZSE; Activity data; Emission factors; Hydrofluorocarbons (HFCs); Perfluorocarbons (PFCs); Sulphur Hexafluoride (SF ₆)		
Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Zusammenfassung und Hinweis zur Lektüre	IV
Summary and Note for the User	V
Sommaire et notes pour le lecteur	VI
Vorbemerkung: Begriffliche Klärung der sieben Typen von Aktivitätsdaten und Emissionen ("Emissionstypen") in der F-Gas-Berichterstattung	VII
F-Gas-Blatt 1 Kühlfahrzeuge	1
I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand	2
II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....	9
F-Gas-Blatt 2 Kühlcontainer.....	11
Bestand und laufende Emissionen vom Bestand.....	12
F-Gas-Blatt 3 Wärmepumpen.....	17
I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand	18
II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....	24
F-Gas-Blatt 4 Haushalts-Kühlgeräte.....	27
Bestand und laufende Emissionen vom Bestand.....	28
F-Gas-Blatt 5 Stationäre Klimaanlage.....	31
I. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....	32
II. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand.....	38
F-Gas-Blatt 6 Raumklimageräte.....	42
Bestand und laufende Emissionen vom Bestand.....	43
F-Gas-Blatt 7 Industriekälte	49
I. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....	50
II. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand.....	56
F-Gas-Blatt 8 Gewerbekälte.....	61
I. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....	62
II. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand.....	72
F-Gas-Blatt 9 Pkw-Klimaanlagen.....	78
I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand	79
II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....	87
III. Entsorgungsemissionen.....	90
F-Gas-Blatt 10 Lkw-Klimaanlagen.....	92
I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand	93
II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....	100
F-Gas-Blatt 11 Bus-Klimaanlagen.....	102
I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand	103

II *Aktivitätsdaten und Emissionen von F-Gasen in Deutschland 1995-2002*

<i>II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....</i>	<i>109</i>
F-Gas-Blatt 12 Landmaschinen-Klimaanlagen	111
<i>I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand</i>	<i>112</i>
<i>II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....</i>	<i>117</i>
F-Gas-Blatt 13 Schiffs-Klimaanlagen.....	119
<i>I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand</i>	<i>120</i>
<i>II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....</i>	<i>125</i>
F-Gas-Blatt 14 Schienenfahrzeug-Klimaanlagen	128
<i>I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand</i>	<i>129</i>
<i>II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....</i>	<i>134</i>
F-Gas-Blatt 15 PU-Hartschaum.....	135
<i>Teil I. HFKW-Inlandsverbrauch und Fertigungsemissionen</i>	<i>136</i>
<i>Teil II: HFKW-Bestand und laufende Emissionen vom Bestand.....</i>	<i>138</i>
F-Gas-Blatt 16 PU-Integralschaum	143
<i>Inländischer HFKW-Neuverbrauch mit Totalemission</i>	<i>144</i>
F-Gas-Blatt 17 PU-Montageschaum.....	147
<i>I. Neuzugang ins Inland und Totalemission bei Anwendung.....</i>	<i>148</i>
F-Gas-Blatt 18 XPS-Dämmstoffe.....	155
<i>Teil I. HFKW-Inlandsverbrauch und Fertigungsemissionen</i>	<i>156</i>
<i>Teil II: HFKW-Bestand und laufende Emissionen vom Bestand.....</i>	<i>158</i>
F-Gas-Blatt 19 Feuerlöschmittel.....	163
<i>I. HFKW-Neuzugang ins Inland und Bestands-Emissionen</i>	<i>164</i>
<i>II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....</i>	<i>168</i>
F-Gas-Blatt 20 Dosieraerosole	170
<i>I. HFKW-Neuzugang ins Inland und Anwendungsemissionen</i>	<i>171</i>
<i>II. HFKW-Neuverbrauch zur Befüllung und Fertigungsemissionen</i>	<i>175</i>
F-Gas-Blatt 21 Allgemeine Aerosole.....	176
<i>I. HFKW-Neuzugang ins Inland und Anwendungs-Emissionen</i>	<i>177</i>
<i>II. HFKW-Neuverbrauch zur Befüllung und Fertigungsemissionen</i>	<i>180</i>
F-Gas-Blatt 22 Novelty-Aerosole	182
<i>Neuzugang ins Inland und Anwendungs-Emissionen</i>	<i>183</i>
F-Gas-Blatt 23 Lösemittel.....	186
<i>HFKW-Zugang im Inland und Anwendungs-Emissionen.....</i>	<i>187</i>
F-Gas-Blatt 24 Produktion HFKW-134a	190
F-Gas-Blatt 25 Produktion HFKW-227ea	192
F-Gas-Blatt 26 HFKW-23.....	194

Kältemittelvermarktung und Beiprodukt-Emissionen von HFKW-23	195
F-Gas-Blatt 27 Produktion von SF₆	198
F-Gas-Blatt 28 Betriebsmittel zur Übertragung und Verteilung von Elektrizität	200
I. Inländischer SF ₆ -Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....	201
II. SF ₆ -Zugang zum Bestand und Bestands-Emissionen	205
III. SF ₆ -Entsorgung und Entsorgungsemissionen.....	210
F-Gas-Blatt 29 Schallschutzscheiben	213
I. Inländischer SF ₆ -Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....	214
II. SF ₆ -Zugang zum Bestand und Bestands-Emissionen.....	219
III. SF ₆ -Entsorgung und Entsorgungsemissionen	224
F-Gas-Blatt 30 Autoreifen	228
Neuverbrauch von SF ₆ und Entsorgungsemissionen.....	229
F-Gas-Blatt 31 Magnesium-Guss	234
Inländischer SF ₆ -Neuverbrauch mit Totalemission.....	235
F-Gas-Blatt 32 Spurengas	239
Inländischer SF ₆ -Einsatz (Verbrauch) mit Totalemission.....	240
F-Gas-Blatt 33 Aluminium-Reinigung	242
Inländischer SF ₆ -Neuverbrauch mit Totalemission.....	243
F-Gas-Blatt 34 Flugzeug-Radar	245
SF ₆ -Neuzugang und laufende Bestands-Emissionen	246
F-Gas-Blatt 35 Sportschuhsohlen	249
Zugang von SF ₆ und Entsorgungsemissionen	250
F-Gas-Blatt 36 Teilchenbeschleuniger	254
I. SF ₆ Bestand und laufende Bestandsemissionen	255
II. Inländischer SF ₆ Neuverbrauch und Fertigungsemissionen.....	260
III. SF ₆ Entsorgung und Entsorgungsemissionen.....	260
F-Gas-Blatt 37 Starkstrom-Kondensatoren	262
SF ₆ Verbrauch zur Fertigung und Fertigungsemissionen	262
F-Gas-Blatt 38 Leiterplattenfertigung	264
FKW-Neuverbrauch, Emissionsfaktor und Fertigungsemissionen.....	265
F-Gas-Blatt 39 Halbleiterfertigung	268
Inländischer FC-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen	269
F-Gas-Blatt 40 Aluminiumproduktion	271
FKW-Emissionen aus der Aluminiumverhüttung	272
Abkürzungen – List of Abbreviations	274
Danksagung	274

Zusammenfassung und Hinweis zur Lektüre

Vor ihrer Aufnahme ins Klimaschutzprotokoll von Kioto im Jahre 1997 erweckten die fluorierten Treibhausgase HFKW, FKW und SF₆ (F-Gase) noch wenig Aufmerksamkeit. Seitdem sind jedoch die Ansprüche an die Erhebung und Berichterstattung ihrer nationalen Emissionen erheblich gestiegen. Für die Berichterstattung an das UNFCCC-Sekretariat sind z.B. jährlich umfangreiche Angaben in vorgegebenen Formaten (common reporting format = CRF) zu melden. Wissenschaftlich formuliert werden diese Ansprüche durch die UNFCCC guidelines on reporting, die wiederum dem IPCC good practice guidance folgen.

In Deutschland wird zudem mit dem Zentralen System Emissionen (ZSE) ein Werkzeug geschaffen, welches ermöglicht, allen geforderten Anforderungen an die Qualität von Aktivitätsdaten wie von Emissionsfaktoren zu genügen. Das bedeutet, Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren müssen ab 1995 in jedem einzelnen Anwendungssektor in ihrem Zustandekommen und ihren Berechnungsgrundlagen nachvollziehbar und transparent dokumentiert und für die Aufnahme in das ZSE präpariert werden.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, für 40 nationale Anwendungssektoren von F-Gasen für die Zeit von 1995 bis 2002 diese erforderliche Transparenz herzustellen.

- Erstens werden sowohl alle Aktivitätsdaten als auch die sich darauf beziehenden Emissionen selbst in Zeitreihen präsentiert und kommentiert: für Herstellung, Bestand in Produkten und Anlagen sowie Außerbetriebnahme.
- Zweitens werden die den Emissionen zu Grunde liegenden Berechnungsverfahren ausführlich dargestellt. Alle Informationsquellen (Literatur, Experten aus Anwendung, Herstellung, Handel, Wissenschaft) werden offen gelegt.
- Drittens werden Sicherheit und Aktualität der Daten erörtert.
- Viertens werden ev. Abweichungen von den IPCC-Standardwerten festgestellt und begründet.

Wo die intensive Überprüfung von 40 Sektoren durch acht Berichtsjahre hindurch Lücken oder Unstimmigkeiten aufdeckt, gestattet die Einrichtung der sog. Rekalkulation ihre nachträgliche Korrektur. Dadurch trägt die Studie dazu bei, das Datenniveau bereits durchgeführter wie künftiger Berichterstattungen zu erhöhen.

Hinweis zum Umgang mit dieser Studie: Jedes der 40 Kapitel (F-Gas-Blätter) kann unabhängig von den anderen gelesen und verstanden werden. Gleichwohl dürfte die Vorbemerkung über die sieben vorkommenden Emissionstypen einschließlich graphischer Illustration (und Abkürzungsverzeichnis) die Lektüre erleichtern.

Die Abfolge der Sektoren in dieser Studie orientiert sich zwar an der Reihenfolge im CRF-Datenblatt, ist aber nicht mit ihr identisch.

Summary and Note for the User

Before the 1997 Kyoto Protocol on Climate Protection, the fluorinated greenhouse gases HFCs, PFCs, and SF₆ (F-gases) aroused little public attention. Since then, the standards on surveying and reporting on national emissions have been rising constantly. Amongst others, the annual reporting to the UNFCCC secretariat makes detailed declarations on use and emissions of F-gases necessary, which have to be filled in specified formats for submission (Common Reporting Format = CRF). The scientific basis has been set out by the UNFCCC guidelines on reporting, in accordance with the instructions laid down in IPCC good practice guidance.

Additionally, in Germany the Centralised System of Emissions (ZSE) shall provide a suitable tool to satisfy any quality needs of both activity data and emission factors. From 1995 onwards, activity data and emissions of each individual application sector shall be presented in a comprehensible and transparent way. Therefore, the way of data collection as well as the estimation methods applied must be well documented. Moreover, data has to be prepared for appropriate importation into ZSE.

It is the objective of this study to provide the transparency demanded within 40 national application sectors of F-gases, for the period between 1995 and 2002.

- Firstly, all the activity data as well as the emissions related to them are presented and commented. This applies to the manufacturing of products, F-gases banked in operating systems, and decommissioning.
- Secondly, the methodologies applied to calculate the emissions are described and all sources of information are revealed, e.g. literature, experts from the manufacturing industry, users, trade, and academia.
- Thirdly, reliability and safety of data are discussed.
- Fourthly, possible deviations from the IPCC default values are stated and given reasons for.

Wherever this intensive reviewing of 40 sectors through eight years of reporting uncovers gaps or inconsistencies in previous reports, later corrections can be made by means of recalculations. By that, the study contributes to a higher quality level of data reporting for the past as well as for the future.

Recommendation how to use this study: Each of the 40 chapters (F-Gas-Sheets) can fairly be read and understood independently. Nevertheless, the introductory remark on the eight different emission types occurring in the study together with the graphical illustration (incl. the list of abbreviations) might make the reading easier.

The sequence of the sectors in this study on principle follows the order of sectors in the CRF data-sheet, although it is not identical to it.

Frankfurt, March 2004

Sommaire et notes pour le lecteur

Avant le protocole de Kyoto sur le climat, en 1997, les gaz fluorés à effet de serre (hydrofluorocarbures – HFC, perfluorocarbures – PFC, hexafluorure de soufre - SF₆) retenaient peu l'attention du public. Cependant les normes concernant les relevés et les rapports sur des émissions nationales ont été considérablement renforcées. Entre autres, des déclarations annuelles détaillées sont à fournir au secrétariat du UNFCCC en respectant un format donné (common reporting format = CRF). La base scientifique a été établie par la «UNFCCC guidelines on reporting», qui elle-même se réfère au IPCC «good practice guidance».

De plus, le Système centralisé d'émissions (ZSE) a créé en Allemagne un instrument qui permet de satisfaire à toutes les exigences de qualité des données d'activité ainsi que des facteurs d'émission. Ceci signifie qu'à partir de 1995 les données d'activité et les facteurs d'émission doivent être compréhensibles et documentées de façon transparente pour chaque secteur d'application concernant leur origine et leur base de calcul. En outre, elles doivent être préparées de façon à pouvoir être saisies par le ZSE.

L'objectif de l'étude présente est d'assurer cette transparence requise pour les 40 secteurs nationaux d'utilisation des gaz fluorés pour la période de 1995 à 2002.

- Premièrement, toutes les données d'activité ainsi que les émissions elles-mêmes relatives à celles-ci sont présentées et commentées en tableaux chronologiques. Ceci concerne la production, les stocks et la cessation d'exploitation.
- Deuxièmement, la méthode utilisée pour calculer les émissions doit être décrite et toutes les sources d'information indiquées (bibliographie, les experts de l'utilisation, de la production, du commerce et de la science).
- Troisièmement, la fiabilité et l'actualité des données doivent être discutées.
- Quatrièmement, les déviations éventuelles des standards du IPCC doivent être constatées et justifiées.

Là où une vérification intensive de 40 secteurs au cours de huit années de référence dévoile des lacunes ou des irrégularités, l'institution de recalculation permet afin de faire les corrections nécessaires. Par cela l'étude contribue à améliorer le niveau des données déjà effectuées, ainsi que celui des rapports futurs.

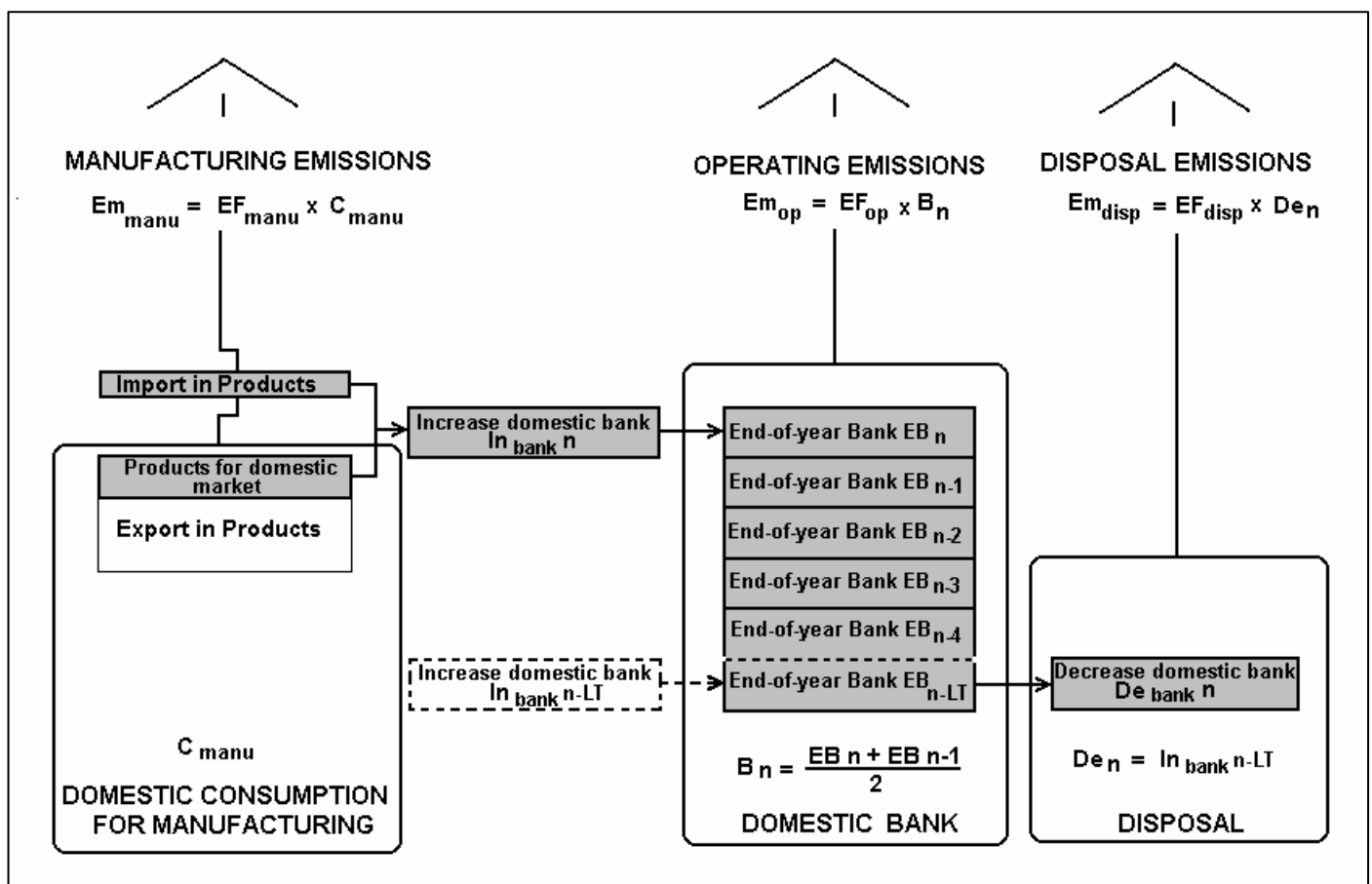
Recommandation pour l'utilisation de cette étude : chacun des 40 chapitres (feuilles des gaz fluorés) peut être lu et compris indépendamment des autres. Cependant la remarque préliminaire sur les sept types d'émission présentés, y compris les illustrations graphiques (et la liste des abréviations) devrait faciliter la lecture.

L'ordre des secteurs de cette étude s'oriente bien à celui de la feuille de données CRF, mais n'est pas identique.

Francfort, mars 2004

Vorbemerkung: Begriffliche Klärung der sieben Typen von Aktivitätsdaten und Emissionen ("Emissionstypen") in der F-Gas-Berichterstattung

Um das Verständnis der insgesamt 40 erörterten F-Gas-Sektoren in Bezug auf Aktivitätsdaten, Emissionen und Emissionsfaktoren zu erleichtern, sollen die sieben wichtigsten Anwendungs- bzw. Emissionstypen in ihren inneren Zusammenhängen dargestellt werden. Dies geschieht durch Kurzbeschreibungen, die mit folgendem Fließbild illustriert werden sollen. (Die zahlreichen Abkürzungen werden direkt im Anschluss sowie erneut am Ende des Haupttextes erklärt.)



Fließbild: Zusammenhang Aktivitätsdaten, Emissionen und Emissionsfaktoren.

Grundsätzlich lassen sich sieben verschiedene Typen von Emissionen unterscheiden. Bei manchen der im Haupttext erörterten Anwendungen kommt nur einer davon vor, bei manchen sind es zwei oder sogar drei.

Emissionstyp 1: Fertigungsemissionen (Produktherstellung)

Typische Fälle sind inländische Befüllungen von Kälte-Klimaanlagen, Spraydosen, Schaltanlagen, Schallschutzscheiben, Lösch- u. Lösemittelanlagen, F-Gas-Einschluss in Hartschaum sowie die Zufuhr von F-Gasen in Ätzkammern der Halbleiterindustrie.

Gleichung: $Em_{manu} = EF_{manu} \times C_{manu}$
--

Dieser Typ (dargestellt auf der linken Seite des Fließbildes) bezieht sich auf "domestic consumption for manufacturing" (unten) und "manufacturing emissions" (oben), während "import in products" keine Rolle spielt. Aktivitätsdaten sind der inländische Neuverbrauch von F-Gasen zur Herstellung F-Gas-haltiger Produkte (C_{manu}), die sich dann in Produkte für den Inlandsmarkt und für den Export gliedern. Der Verbrauch geht bestimmungsgemäß in das Produkt ein. Jedoch fallen bei der Fertigung Emissionen (Em_{manu}) an. Diese sind der durch den Emissionsfaktor (EF_{manu}) bestimmte Teil des Verbrauchs, der ungewollt nicht ins Produkt gelangt. Dies ist bei der Halbleiterfertigung etwas anders: Der Verbrauch spaltet sich hier nicht in eingefüllte und emittierende Mengen. Vielmehr gelangt der Verbrauch in vollem Umfang in den Herstellungsprozess, der die zugeführten F-Gase zum Teil zerstört und zum Teil unverändert emittieren lässt.

Emissionstyp 2: Offene Anwendung (direkt)

Fälle offener direkter Anwendung sind der u.a. F-Gas-Einsatz zur Aluminiumreinigung, beim Magnesiumguss, bei der Integralschaum-Herstellung und der XPS-Schäumung (nur HFKW-152a) - mit Einschränkungen auch die Verwendung als Tracergas.

Gleichung: $Em_{\text{manu}} = EF_{\text{manu}} (100\%) \times C_{\text{manu}}$

Offene Anwendungen, die hier gemeint sind, haben mit dem Emissionstyp 1 gemein, dass es sich ebenfalls um inl. Verbrauch von F-Gasen zur Produktherstellung handelt (C_{manu}). Die Produkte selbst enthalten jedoch keine F-Gase mehr wie bei Emissionstyp 1. Sie emittieren vielmehr vollständig bei Applikation. Definitionsgemäß ist der Emissionsfaktor ($EF_{\text{manu}} = 100\%$) (siehe Gleichung). Inländischer Verbrauch und inländische Emissionen sind identisch ($C_{\text{manu}} = Em_{\text{manu}}$). Mit "direkt" ist gemeint, dass die F-Gase nicht aus Zwischenbehältnissen (etwa Aerosoldosen) emittieren, in die sie vorher eingefüllt wurden (→ Emissionstyp 3).

Emissionstyp 3: Offene Anwendung (indirekt)

Fälle offener indirekter Anwendung sind alle Applikationen aus Dosen: medizinische Dosieraerosole, allgemeine Aerosole, Novelty-Sprays, Montageschaum.

Gleichung: $Em_{\text{op}} = EF_{\text{op}} (100\%) \times In_{\text{bank } n} \text{ oder } (In_{\text{bank } n}) \times 50\% + (In_{\text{bank } n-1}) \times 50\%$

Bei indirekten offenen Anwendungen gelangen F-Gase gleichfalls vollständig ($EF_{\text{op}} = 100\%$) in die Atmosphäre, jedoch im Unterschied zur direkten Anwendung (→ Emissionstyp 2) emittieren sie aus Behältnissen, in die sie vorher eingefüllt wurden (→ Emissionstyp 1). Solange sie in – inländischen (!) - Behältern (meist Aerosoldosen) sind, bilden sie temporären Bestand (domestic bank), so dass die Emissionen bei der Anwendung keine Herstellungsemissionen (Em_{manu}) sind, sondern Emissionen vom inl. Bestand ($Em_{\text{op}} = \text{operating emissions from domestic bank}$). Siehe Fließbild Mitte.

Der Bestand selber (domestic bank) ist nur so groß wie ein jährlicher Zugang (In_{bank}). Bei kurzfristiger Applikation bezieht sich der Emissionsfaktor EF_{op} auf den Zugang im aktuellen Jahr, bei zeitlich verzögerter (semi-prompt) Anwendung dient als Bezugsgröße der halbe Zugang des Vorjahres plus dem halben Zugang des aktuellen Jahres (siehe Gleichung: $In_{\text{bank } n} \times 50\% + In_{\text{bank } n-1} \times 50\%$). Wie das Fließbild zeigt, kann der Neuzugang teilweise (oder auch ganz) aus Importen (import in products) bestehen. Diese Möglichkeit ist beim Emissionstyp 2 nicht gegeben.

Emissionstyp 4: Laufende Emissionen vom Bestand

Unter "geschlossenen" Anwendungen sind alle F-Gas-haltigen Systeme der Kälte- und Klimatechnik zu verstehen, viele Dämmschäume (mit HFKW-134a oder 365mfc), Löschanlagen, Schaltanlagen und vergleichbare elektrische Geräte, Schallschutzscheiben – mit Einschränkungen auch mit SF₆ gefüllte Schuhsohlen oder Autoreifen.

Gleichung: $Em_{op} = EF_{op} \times (EB_n + EB_{n-1}) \times 0,5$
--

Laufende Emissionen vom inl. Bestand sind solche, die aus "geschlossenen" Systemen entweichen. Sie stellen den quantitativ bei weitem wichtigsten Emissionstyp dar.

Das Fließbild zeigt, dass sich der inl. Bestand (domestic bank) aus mehreren übereinander liegenden Schichten zusammensetzt, die je einen ganzen jährlichen Zugang (Increase domestic bank oder Input to domestic bank = In_{bank}) repräsentieren. Die Anzahl der im inländischen Bestand enthaltenen jährlichen Zugänge ist durch die Lebensdauer (Lifetime = LT) der F-Gase enthaltenden Systeme bestimmt. Die oberste Schicht im Modell ist der Zugang des aktuellen Jahres n, die unterste und älteste Schicht der um die Lebensdauer (LT) zurückliegende Zugang ($In_{bank\ n-LT}$). Dieser älteste Zugangs-Jahrgang scheidet im aktuellen Jahr n als Entsorgungsmenge (Disposal) aus dem Bestand aus (→ Emissionstyp 5).

Da sich der Zugang In_{bank} über ein ganzes Jahr hinzieht, ist sein Umfang erst am Jahresende vollständig bestimmt. Er hat dann zugleich den Endbestand des Vorjahres (End-of-year bank EB_{n-1}) um seinen eigenen Umfang vermehrt. Dadurch ist der Vorjahres-Endbestand (EB_{n-1}) zum Endbestand des Jahres n (EB_n) angewachsen. Anders ausgedrückt: Im Laufe des Jahres n wächst EB_{n-1} , d. i. der inländische Vorjahres-Endbestand, durch den Neuzugang $In_{bank\ n}$ zum Endbestand des laufenden Jahres (EB_n) an. Der Neuzugang $In_{bank\ n}$ setzt sich seinerseits zusammen aus sowohl im Inland hergestellten F-Gas-haltigen Produkten (products for domestic market) als auch im Ausland hergestellten F-Gas-haltigen Produkten (import in products). (Die inländischen Herstellungsemissionen, die bei "products for domestic market" anfallen, gehören zum Emissionstyp 1 und spielen jetzt keine Rolle mehr).

Die Emissionen des laufenden Jahres (Em_{op} = operating emissions) beziehen sich nicht auf den fertigen Endbestand des laufenden Jahres, sondern verlaufen zeitlich während des ganzen Jahres n. Darum beziehen sie sich auf den Mittelwert aus dem Endbestand des Vorjahres und dem Endbestand des laufenden Jahres. Letzterer ist der mittlere Bestand B_n . Dieser folgt der Gleichung $B_n = (EB_{n-1} + EB_n) \times 0,5$. Dieser Punkt ist besonders wichtig, solange die Bestände nicht im Gleichgewicht sind, sondern jährlich anwachsen oder abnehmen.

Der Emissionsfaktor EF_{op} ist abhängig von den Betriebsbedingungen geschlossener F-Gas-haltiger Systeme. Er reicht von 0,1 bis über 25% pro Jahr und ist im Rahmen der F-Gas-Berichterstattung die mit den größten Unsicherheiten behaftete Größe.

Emissionstyp 5: Entsorgungsemissionen

Fälle von Entsorgungsemissionen sind im System der bis 2002 reichenden Berichterstattung noch nicht häufig, weil HFKW erst ab 1993 umfassend in neuen Anlagen ein-

gesetzt wurden und diese noch nicht das Ende ihrer normalen Lebensdauer erreicht haben. Fälle von Entsorgung sind bislang vorrangig SF₆-Anwendungen: Schaltanlagen, Schallschutzscheiben, Autoreifen, Sportschuhsohlen.

Gleichung: $Em_{disp} = EF_{disp} \times De_{bank\ n}$
--

Zur Entsorgung stehen im Modell, sofern keine direkten empirischen Werte über jährlich außer Betrieb genommene Systeme vorliegen, immer ganze Jahrgänge F-Gas-haltiger Produkte an, und zwar am Ende ihrer physischen Lebensdauer. Emissionen beim Handling von F-Gasen, die aus bestehenden Anlagen während der Nutzung abgesaugt und, was mitunter vorkommt, direkt der Entsorgung zugeführt werden, zählen begrifflich nicht dazu, sondern zu Emissionen aus dem Bestand (Emissionstyp 4). Das gilt auch für Emissionen beim Handling von F-Gasen, die bei Produktherstellung unbrauchbar werden und entsorgt werden; das sind Herstellungsemissionen (Emissionstyp 1).

Ist die Lebensdauer vollendet, scheidet der um die Lebensdauer zurückliegende jährliche Zugang aus dem Bestand aus (im Fließbild die unterste Lage des Bestands). Die Entsorgungsmenge (Disposal) im Jahr n , auch $De_{bank\ n}$ (= Decrease domestic bank oder auch Departure from bank) genannt, ist so groß wie der um die Lebensdauer ($LT = \text{Lifetime}$) zurückliegende Neuzugang ($In_{bank\ n-LT}$). Wenn $LT = 12$ Jahre, dann ist $De_{bank\ n}$ gleich $In_{bank\ n-12}$.

Wie viel bei der Entsorgung in die Atmosphäre entweicht und wie viel zurückgewonnen wird, hängt sowohl von rechtlichen als auch von technischen Bedingungen ab sowie von der Sorgfalt des Personals. Die nicht zurückgewonnene Fraktion wird mit dem Emissionsfaktor EF_{disp} ausgedrückt. In der Regel werden der EF_{disp} und damit die Entsorgungsemissionen Em_{disp} nicht auf die noch vorhandene Restmenge von F-Gas in ausscheidenden Anlagen bezogen, sondern auf die ursprüngliche Befüllung zum Zeitpunkt $n-LT$. Es wird aus Vereinfachungsgründen unterstellt, dass Emissionen während der Nutzphase immer wieder durch Nachfüllungen ausgeglichen werden.

Emissionstyp 6: Produktionsanlagen-Emissionen (fugitive emissions)

Es handelt sich hier um Emissionen, die bei der Produktion von F-Gasen selbst entstehen und ein Teil davon sind. In Deutschland betrifft dies die Erzeugung von HFKW-134a, HFKW-227ea und von SF₆.

Emissionstyp 7: Nebenproduktemissionen (by-product emissions)

Damit sind F-Gas-Emissionen bei der Herstellung anderer Produkte gemeint. Erstens Emissionen des HFKW-23 bei der Herstellung des HFCKW-22. Der zweite Fall sind FKW-Emissionen, die bei der Elektrolyse von Primäraluminium entstehen.

Emissionstyp 6 und 7 werden nicht anhand des Fließbilds erläutert. Ebenso wenig der so genannte Emissionstyp 8.

Emissionstyp 8: Potenzielle Emissionen

Die in einem Berichtsjahr auf verschiedene Weise bei der Herstellung, Nutzung und Entsorgung entweichenden Mengen an HFKW, FKW und SF₆ stellen die wirklichen oder auch "aktuellen" (A) Emissionen dar. Für die internationale Berichterstattung ist

bislang zusätzlich eine Bestimmung der "potenziellen" (P) Emissionen erforderlich. Darunter ist kein neuer Emissionstyp zu verstehen, sondern eine besondere Sichtweise auf das Emissionsgeschehen, das mit den sieben Emissionstypen umfassend beschrieben ist.

Die Gesamtheit der in einem Berichtsjahr in einem Land vorhandenen F-Gase (HFKW, FKW, SF₆) bildet das jährliche Emissionspotenzial oder die potenziellen Emissionen. Aus potenziellen werden wirkliche Emissionen nach Maßgabe anwendungsspezifischer Emissionsfaktoren. Wo der Emissionsfaktor 100% beträgt (offene Anwendungen), sind potenzielle und aktuelle Emissionen gleich groß. Die Masse der in einem Land vorhandenen F-Gase befindet sich aber in geschlossenen Systemen (Kälte- und Klimaanlage, Schäume, Schaltanlagen usw.), aus denen jährlich nur Teilmengen entweichen, die durch den laufenden und den Entsorgungs-Emissionsfaktor ausgedrückt werden. Darum sind in einem bestimmten Land in einem gegebenen Jahr die aktuellen Emissionen immer kleiner als die potenziellen. Der Quotient aus aktuellen und potenziellen Emissionen (A/P) ist ein zwar grobes, aber durchaus informatives Maß für das Rückhaltevermögen (Anlagendichtheit, Rückgewinnung) eines Landes gegenüber den in ihm eingesetzten F-Gasen.

Die quantitative Bestimmung der potenziellen Emissionen zu einem bestimmten Zeitpunkt erfolgt recht schlüssig durch die in Beständen (domestic bank, lt. CRF "stocks") befindlichen F-Gase, wobei die durchschnittlich im Berichtsjahr vorhandene Menge (lt. CRF: "average annual stocks") zu Grunde gelegt wird. Die Mengen sind beim Emissionstyp 4 erfasst, aber auch die indirekt offenen Anwendungen des Emissionstyps 3 bilden vorübergehende Bestände. (Im Common Reporting Format (CRF) entspricht den in Table 2(I)s2 anzugebenden potenziellen Emissionen (P) der "stock" der F-Gase.)

Für die potenziellen Emissionen ist es daher nicht nötig die Gesamtmenge von F-Gasen in einem Land indirekt über eine detaillierte Untersuchung des F-Gas-Außenhandels zu bestimmen. Die zeit- und arbeitsaufwendige Analyse jedes einzelnen Sektors im Hinblick auf Exporte und Importe von F-Gasen als Chemikalien und in Produkten (wie bislang gefordert), kann entfallen, da die Abschätzung der inländischen Mengen in Beständen und offener Anwendung ohnehin zum gleichen Resultat führt.

Zu beachten ist: Nicht im "stock" einbezogen sind Mengen aus der reinen Lagerhaltung, die auch zum Gesamtbestand eines Landes und daher zu potenziellen Emissionen gehören. Diese Mengen unterliegen starken Schwankungen, so dass eine Erfassung weder möglich ist noch die Angabe eines Durchschnittswertes sinnvoll wäre. Die Summe der potenziellen Emissionen und der Quotient aus aktuellen zu potenziellen Emissionen wird durch diese Unschärfe nicht wesentlich verändert.

Nachtrag. Zur Häufigkeit der sektoralen Datenermittlung

Unter den vierzig F-Gas-Anwendungen gibt es einige wenige, in denen Produzenten bzw. Anwender direkt Emissionen ermitteln und berichten. Dazu gehören außer Prozessemissionen der Halbleiterindustrie die Emissionen von Produktionsanlagen in der Aluminiumverhüttung und in der Herstellung von F-Gasen selbst. Für diese Sektoren versteht sich ein jährlicher Berichtsturnus von selbst. Denn die Emissionen schwanken in Abhängigkeit von Produktionsmengen, und diese sind ihrerseits starken Schwankungen der wirtschaftlichen Aktivität des Landes bzw. der Branche unterworfen.

In der großen Mehrheit werden F-Gas-Emissionen aber indirekt ermittelt, durch Kombination von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren. Im System der Berichterstattung sind die Emissionsfaktoren als in der Regel technische Größen das stabile Element, das entweder so gut wie gar keinen oder nur recht langsamen Veränderungen in der Zeit unterliegt. Die zahlreichen im Text der Studie dargestellten Emissionsfaktoren müssen zwar stets im Hinblick auf neue Erkenntnisse beobachtet werden, die gegebenenfalls zu inkorporieren sind. Für eine generelle Kontrolle reicht allerdings ein allgemeiner Turnus von fünf Jahren aus.

Anders die Aktivitätsdaten. Diese sind in erster Linie der "inländische Verbrauch zur Herstellung oder Befüllung" und der "inländische Bestand", der seinerseits im wesentlichen aus "jährlichen Zugängen" und "jährlichen Abgängen" (von weiteren Untergliederungen sei hier abgesehen) gebildet wird. Wie die oben erwähnten Anlagenemissionen unterliegen Aktivitätsdaten (wie der Begriff schon ausdrückt) unmittelbar kurzfristigen Einflüssen der wechselnden wirtschaftlichen Aktivität sowie sich verändernden politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen. Generell sind Aktivitätsdaten daher jährlich zu ermitteln, schon alleine um eine Fehlerfortpflanzung zu verhindern, die die Eingabe eines einzigen falschen Jahreswerts für die Größe eines über Jahre angehäuften Bestands mit sich zieht.

Die Anstrengungen der nationalen Datensammelstelle (inventory agency) richten sich daher (in Deutschland) in erster Linie darauf, jedes Jahr Aktivitätsdaten aus den 34 Anwendungssektoren zu erhalten, die nicht selber direkt ihre Emissionen berichten.

Hiervon gibt es einige Ausnahmen, die genannt werden sollen. Die Aktivitätsdaten im Sektor der Industriekälte und der Gewerbekälte kommen über komplizierte Kältemittel-Modelle zustande, die nicht alljährlich neu zusammengestellt, sondern, nach heutigen Kenntnissen, etwa alle drei Jahre grundsätzlich überprüft werden müssen. Das schließt jährliche Kontrollen von Details mit ein. Außer diesen beiden gewichtigen Sektoren gibt es kleinere Bereiche, für welche die vergangenen acht Jahre eine hohe Konstanz der Emissionen gezeigt haben. Dazu gehören die Sektoren der Teilchenbeschleuniger, des militärischen Radars, der Leiterplatten-Fertigung und der Tracergas-Anwendung. Hier reichen Ermittlungsabstände von drei bis fünf Jahren aus, ohne dass die Datenqualität ernsthaft gefährdet würde.

Abkürzungen

B_n	Mittlerer Bestand des lfd. Jahres	Em_{disp}	Entsorgungsemissionen
C_{manu}	Verbrauch zur Herstellung	Em_{manu}	Fertigungsemissionen
De_{bank}	Abgang vom Bestand (Außerbetriebn.)	Em_{op}	Lfd. Bestands-Emissionen
EB_n	Bestand am Ende des lfd. Jahres	In_{bank}	(Neu)Zugang zum inl. Bestand
EB_{n-1}	Bestand am Ende des vorigen Jahres	$In_{bank\ n}$	Diesjährig. Zugang z. Bestand
EF_{disp}	Faktor der Entsorgungsemissionen	$In_{bank\ n-1}$	Letzjährig. Zugang z. Bestand
EF_{manu}	Faktor der Fertigungsemissionen	LT	Lebensdauer (mittlere)
EF_{op}	Faktor der laufenden Emissionen	n	Laufendes Jahr
ÖR	Öko-Recherche		

F-Gas-Blatt 1 Kühlfahrzeuge

F-Gase	HFKW 134a, HFKW 404A, HFKW 410A, HFKW-152a, FKW-218
Anwendung	Kühlfahrzeuge
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen

Hintergrund

Laut Kraftfahrtbundesamt-Statistik gab es im Jahre 2002 über 91.000 Kühlfahrzeuge. 1993 waren es erst 48.000 gewesen. Die Mehrzahl waren selbstfahrende "Lkw mit Isolieraufbau und Kühlung", die vorwiegend im lokalen und regionalen Verteilerverkehr eingesetzt werden. Zahlenmäßig weniger, aber mit insgesamt mehr Laderaum, waren gezogene Anhänger, davon die meisten große Sattelaufleger für den Fernverkehr.

Dem Ladevolumen entsprechend variieren Größe und Kältemittelfüllung der Kälteaggregate. Kleine Fahrzeuge unter bzw. nicht weit über 2 t zul. GG für den sog. Frischdienst sind meist nachträglich isolierte und mit (Dach-)Kälteanlage versehene Nutzfahrzeuge vom Typ VW-Transporter oder Mercedes Sprinter. Ihr Kühlaggregat mit dem Kältemittel 134a wird über den Fahrzeugmotor angetrieben. Größere Kühlfahrzeuge haben von vornherein einen Isolieraufbau, an dessen Stirnwand die Kälteanlage montiert ist. Der Kompressor wird i. d. R. von einem separaten Dieselgenerator angetrieben. Solche Fahrzeuge sollen auch tiefkühlen, d.h. dauerhaft eine Laderaumtemperatur von -18°C halten können. Das Kältemittel ist standardmäßig HFKW-404A. In gewissem Umfang wird auch 410A eingesetzt.

I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

1 Aktivitätsdaten I. Der HFKW-Neuzugang im Inland

1.a Die jährlichen Neuzulassungen von Kühlfahrzeugen nach Größenklassen

Das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) veröffentlicht jährlich für das Vorjahr die Neuzulassungen für Lkw und Kfz-Anhänger nach zulässigem Gesamtgewicht und Aufbauarten, d.h. offenem oder geschlossenem Kasten. Innerhalb der Aufbauart "geschlossener Kasten" sind Kühlfahrzeuge diejenigen "mit Isolieraufbau und Kühlung". Die Datenlage ermöglicht eine Zeitreihe der neu zugelassenen Kühlfahrzeuge nach Größenklassen (jeweils 23 für Lkw bzw. Anhänger). Eine solche Aufstellung gibt Tab.1 wieder, nachdem die 23 Größenklassen zu vier zusammengefasst wurden, die für die Auslegung der Kälteaggregate wichtig sind.

Tab. 1: Neuzugelassene Kühl-Lkw und -Anhänger nach zul. Gesamtgewicht 1993-2002										
Gewichtsklasse	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. > 22 t GG	1.504	1.665	1.967	2.319	2.753	3.546	3.230	2.830	2.830	3.237
2. 9 - 22 t GG	1.826	1.467	1.747	1.789	1.795	2.108	2.200	1.905	1.878	1.801
3. 5 - < 9 t GG	1.977	1.283	1.296	1.606	1.610	1.716	1.691	1.657	1.657	1.142
4. < 2 - < 5 t GG	1.406	1.197	1.480	1.760	2.401	3.233	3.739	3.729	3.729	3.015
Gesamt	6.713	5.612	6.489	7.474	8.559	10.604	10.860	10.121	10.094	9.195

Quellen: KBA, Statistische Mitteilungen, Reihe 3, Kraftfahrzeuge, div. Jahressbände 1993 ff.

Die vier Gewichtsklassen (zul. GG) wurden von Branchenexperten mit der gängigeren (aber vom KBA nur für den Bestand, nicht für Neuzulassungen vorgenommenen) Einteilung nach Nutzlastklassen kompatibel gemacht. Tab. 1a gibt wieder, wie sich die Einteilung nach Nutzlast und zul. GG zueinander verhält.

Tab. 1a: Umrechnung der beiden gängigen Größenklassen ineinander				
1. Zul. Gesamtgewicht	< 2 – < 5 t	5 t - < 9 t	9 t - < 22 t	> 22 t
2. Nutzlastklasse	< 2 t	2 t – 5 t	5 t- 10 t	> 10 t

Quelle: Branchenexperten nach Abschnitt 3.

1.b Das Kältemittelmodell für Kühlfahrzeuge

Zur Bestimmung des jährlichen HFKW-Neuzugangs durch Neuzulassungen nach Gewichtsklassen sind drei weitere Informationen erforderlich. Erstens: Was sind die mittleren Kältemittel-Mengen in den für die vier Größenklassen typischen Anlagen? Zweitens: Welche Kältemittel werden eingesetzt? Und drittens: Was sind ihre prozentualen Anteile untereinander? Mit Hilfe von Experten der führenden Anbieter von Transportkälteanlagen wurde ein Arbeitsmodell entwickelt, um die aktuelle Situation (seit 1995) realitätsnah abzubilden (Tab. 2).

Zusatzinformation: In Tabelle 2 sind die Daten u .a. folgender Kälteaggregate eingegangen. Klasse <2-<5 t : Kerstner Cool Jet 101, 161, 201. Klasse 5-9 t: Thermo King V 300. Klasse 9 t-<22 t: Thermo King TS 200-500, Frigoblock FK 13 L. Klasse > 22 t: Thermo King SL 400, Carrier Vector 18, Frigoblock HK 25. (Abschnitt 3 nennt die Experten).

Tab. 2: Modell für Kältemittel-Typ, -Menge und -Anteil in Kälteanlagen von Kühlfahrzeugen nach Größenklassen (zul. GG) in Deutschland seit 1995*									
1. Größenklasse	< 2 – < 5 t	5 t - < 9 t		9 t - < 22 t			> 22 t		
2. KM-Typ	134a	134a	404A	410A	134a	404A	410A	134a	404A
3. Füllung kg	2,0	2,5	2,5	5	4	4	9	6,75	6,75
4. Anteil (Stück)	100%	50%	50%	10%	10%	80%	10%	5%	85%

Quellen: siehe nächsten Abschnitt 3.

* Für die Jahre 1993 und 1994, als nur die Kältemittel 134a und 404A zur Verfügung standen, aber noch nicht 410A, wurden in der externen Tabellenkalkulation die Anteile von 410A (je 10% in den beiden oberen Klassen) dem 404A zugerechnet.

Berechnungsbeispiel: Der Neuzugang durch Kälteanlagen zur Nutzung im Inland (In_{bank}) von HFKW-410A im Jahr 2001 lässt sich so ermitteln: Erstens multipliziere die Stückzahlen der Größenklassen 9-22 t bzw. >22 t (Tab. 1, Z. 3) mit den 410A-Anteilen in diesen Größenklassen (jeweils 10% lt. Tab. 2, Z. 4). Das ergibt die Stückzahlen der 410A-Anlagen in beiden Größenklassen in 2001. Dann multipliziere die erste der beiden Stückzahlen mit 5 kg und die zweite mit 9 kg (Tab. 2, Z. 3). Das ergibt folgende Gleichung für die Neufüllmenge (In_{bank} n) von 410A, wenn n = 2001:

$\text{In}_{\text{bank}} 2001: (1878 \times 10\% \times 5 \text{ kg}) + (2830 \times 10\% \times 9 \text{ kg}) = 939 \text{ kg} + 2.547 \text{ kg} = 3.486 \text{ kg}$
--

1.c Jährlicher HFKW-Zugang durch Neuanlagen fürs Inland

Die Neuzugänge (In_{bank}) von HFKW für Neuanlagen fürs Inland waren folgende (t/a):

Tab. 3: HFKW-Neuzugang durch Neuanlagen von Kühlfahrzeugen 1993-2002 in t/a			
	HFKW-134a	HFKW-404A	HFKW-410A
1993	6,5	18,7	*
1994	5,1	17,6	*
1995	5,9	18,5	2,6
1996	7,0	21,0	3,0
1997	8,5	23,5	3,4
1998	10,7	29,2	4,2
1999	11,6	27,7	4,0
2000	11,2	24,4	3,5
2001	11,2	24,3	3,5
2002	10,9	25,7	3,8

Quellen: Daten aus Tab. 1 in Kombination mit Daten aus Tab. 2.

* Die HFKW-Mischung 410A wurde erst ab 1995 eingesetzt.

1.d Neuzugang von HFKW/FKW für Altanlagen im Inland 1996-1999

Zwischen 1996 und 1999 wurde gemäß FCKW-Halon-Verbots-Verordnung in einer gewissen Zahl von Altanlagen (etwa 3.000) der FCKW-12 durch chlorfreie Kältemittel oder Kältemittelkomponenten ausgetauscht. Diese Mengen sind in den Abschätzungen der Tab. 3, die auf Neuzulassungen beruhen, noch nicht enthalten. Gemäß einer Studie des Umweltbundesamtes (Öko-Recherche 1998) wurden in den vier Jahren etwa 10 t HFKW-134a (entweder rein oder als 88%-ige Komponente in 413A) und etwa 1 t HFKW-152a (11% im 401B) zusätzlich dem Bestand (Altanlagen) zugeführt. Dazu

kamen noch etwa 700 kg des PFC-218 – ebenfalls aus dem Servicekältemittel 413A, worin er mit 9% enthalten ist.

Diese Mengen, die ab 2003 aus dem Bestand wieder ausscheiden, werden als gesonderter Neuzugang behandelt. Wegen der höheren Emissionsraten von Altanlagen werden sie auch beim Bestand (Abschn. 2) separat aufgeführt.

Tabelle 4 enthält die HFKW/FKW, die in Altanlagen im Inland gefüllt wurden.

Tab. 4. HFKW- und PFC-Neuzugang durch Kühlfahrzeug-Altanlagen 1996/99 in t/a			
	HFKW-134a	HFKW-152a	PFC-218
1996	2,5	0,25	0,225
1997	2,5	0,25	0,225
1998	2,5	0,25	0,225
1999	2,5	0,25	0,225

2. Der HFKW-Bestand in Kühlfahrzeug-Kälteanlagen

Der HFKW-Endbestand (EB) des Jahres n in Kälteanlagen erhöht sich jährlich um den Neuzugang im Inland (ln_{bank}) n. Der Endbestand (EB) des Jahres n ist die Summe aller bis zum Jahresende n erfolgten jährlichen Neuzugänge - minus Abgänge. Diese kommen bei einer Lebensdauer von 10 Jahren erst ab 2003 vor.

Der mittlere inländische Bestand B_n ist die Hälfte der Summe aus den Endbeständen des Vorjahres n-1 und des Jahres n. Als Formel:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2}$	wobei	$EB_n = EB_{n-1} + ln_{bank\ n}$
-----------------------------------	-------	----------------------------------

2.a Mittlerer Bestand in Neuanlagen

Der mittlere Jahresbestand B_n in Neuanlagen weist folgende Zeitreihe auf

Tab. 5: Mittlerer jährlicher HFKW-Bestand (B_n) in Kühlfahrzeugen 1995-2002 in t/a			
	HFKW-134a	HFKW-404A	HFKW-410A
1995	14,6	45,5	1,3
1996	21,1	65,3	4,1
1997	28,9	87,6	7,3
1998	38,4	114,0	11,1
1999	49,5	142,4	15,2
2000	60,9	168,5	19,0
2001	72,2	192,8	22,5
2002	83,2	217,9	26,1

Quelle: Tab. 3 in Verbindung mit vorstehender Gleichung.

2.b Mittlerer Bestand in Altanlagen und lfd. Emissionen

Wegen des FCKW-Ersatzes in Altanlagen mit höherer Emissionsrate werden für die in Altanlagen gefüllten Kältemittel gesonderte Zeitreihen für ihre mittleren Jahresbestände gebildet (Tab. 6). Der Einfachheit halber werden die lfd. Emissionen (25%) als Vorgriff gleich daneben eingetragen.

Tab. 6: Mittlerer jährlicher HFKW-Bestand (B _n) in alten Kühlfahrzeugen in t/a						
	HFKW-134a		HFKW-152a		FKW-218	
	Mittl. Best.	Emission	Mittl. Best.	Emission	Mittl. Best.	Emission
1996	1,25	0,31	0,123	0,03	0,11	0,03
1997	3,75	0,94	0,375	0,09	0,34	0,08
1998	6,25	1,56	0,625	0,16	0,56	0,14
1999	8,75	2,19	0,875	0,22	0,79	0,20
2000	10,0	2,5	1,0	0,25	0,9	0,23
2001	10,0	2,5	1,0	0,25	0,9	0,23
2002	10,0	2,5	1,0	0,25	0,9	0,23

Quelle für mittl. Bestand: Tab. 4. Für die Emissionen wurde eine 25% ER angelegt.

Kommentar zur Zeitreihe der Aktivitätsdaten

Sieht man von der nur temporären Altanlagen-Zeitreihe (Tab. 6) ab, weist der Kältemittelbestand bei Neuanlagen (Tab. 5) ein stetiges Wachstum auf. Das ist angesichts des Ersatzes von FCKW/HFCKW durch HFKW quasi zwangsläufig. Wie Tab. 3 zeigt, steigt auch der Neuzugang im Inland von 1994 bis 1999 steil an. Es wurden mithin nicht nur Altanlagen am Lebensende durch neue ersetzt, sondern darüber hinaus neue Kühlfahrzeuge angeschafft.

Das stärkste HFKW-Wachstumssegment ist die Gewichtsklasse > 22 t GG. Darin drückt sich eine Verdreifachung des Bestands großer Sattelaufleger seit 1993 aus, während die Zahl mittelgroßer Kühlfahrzeuge (5 - 22 t zul. GG) konstant blieb und sich kleinere Fahrzeuge (< 5 t zul. GG) mit dem Gesamttrend verdoppelten. Von 1999 bis 2002 ist der jährliche Neuzugang leicht rückläufig (von 404A in 2002 abgesehen). Die Bestände an Kühlfahrzeugen wachsen noch, aber nicht mehr mit der Dynamik der 90er Jahre.

Eine Sättigung des Bestands wird bei 100.000 (89.500 in 2002) oder auch weniger Kühlfahrzeugen für möglich gehalten, was bald (2006/7) erreicht werden dürfte. Der mittlere HFKW-Bestand (340 t in 2002) wäre dann etwa 408 t, die sich in 261 t 404A, 109 t 134a und 38 t 410A gliedern könnten.

3. Ermittlung und Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

Alle Daten wie Füllmengen der Gewichtsklasse-typischen Kälteaggregate, verwendete Kältemittel, Details des R-12-Ersatzes usw. wurden in laufendem Kontakt mit Experten der inl. Niederlassungen der beiden Weltmarktführer Thermo King und Carrier sowie der drei führenden inländischen Anbieter Frigoblock, Konvekta und Kerstner ermittelt. Die Zulassungszahlen nach Gewichtsklassen stammen aus schriftlichen Quellen, in diesem Fall der Reihe 3 der Statistischen Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamts.

Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen).

Persönliche Mitteilungen

Carrier Transicold Deutschland GmbH & Co., Georgsmarienhütte, www.carrier-transicold.de
18.03.98, 01.07.98, 10.01.99, 08.02.02.

Carrier Service Center Heppenheim 11.02.02.

Thermo King: Euram GmbH, Haan, 24.09.96, 19.03.98, 30.06.98.

Thermo King: Josef-Große Kracht GmbH & Co. KG, Osnabrück www.grosse-kracht.de, 21.02.02.
 Thermo King: Euram GmbH, Griesheim, 10.01.99, 26.02.02; 13.11.03.
 FRIGOBLOCK Grosskopf GmbH, Essen www.frigoblock.de, 23.09.96, 24.06.98, 10.01.99; 21.02.02.
 Konvekta AG, Schwalmstadt www.konvekta.com, 19.11.96, 22.06.98, 25.07.03.
 Kerstner Fahrzeugklimatechnik GmbH, Groß-Rohrheim, www.kerstner.de, 13.11.03.

Schriftliche Quellen

Krafftahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen, Reihe 3: Kraftfahrzeuge, Jahresbände 1993-2001: Neuzulassungen – Besitzumschreibungen - Löschungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern, Übersichten 19 und 32 (vor 2000: Übersichten 17 u. 27). Erscheint erst zum Jahresende des Folgejahres. Vorveröffentlichung im September: VDA (Verband der Automobilindustrie), Tatsachen und Zahlen, Frankfurt am Main.

4. Rate der laufenden Emissionen vom Bestand

Die laufenden HFKW-Emissionen aus Kälteaggregaten von Kühlfahrzeugen werden für alle Größenklassen und Kältemittel-Typen gleich, nämlich auf 15% geschätzt. Dieser Wert gilt für alle Neuanlagen, die für HFKW-Kältemittel ausgelegt sind. Im Falle der Altanlagen, die für FCKW-12 ausgelegt worden waren, werden 25% geschätzt. Dies ist nur für die chlorfreien Ersatzkältemittel von Bedeutung.

Wegen des offenen Verdichters, der manuellen Installation der Anlage und der extrem langen Laufzeit (praktisch das ganze Jahr über) sind die Emissionen deutlich höher als etwa bei Pkw-Klimaanlagen.

Informationsquellen zu den Emissionsraten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen).

Es liegen keine zugänglichen Messungen der laufenden Emissionen vor. Zwei Hersteller-Experten mit sowohl praktischem als auch wissenschaftlichem Hintergrund schätzten sie auf "jährlich mindestens 15%". Einer der beiden befragten Experten sah die ER sogar "eher bei 20%". Der Experte für kältetechnische Anwendung des HFKW-Herstellers Solvay Fluor & Derivate GmbH hält 15% bei Neuanlagen für realistisch. Auf der DKV-Tagung 2002 sowie in der Fachzeitschrift "DIE KÄLTE und Klimatechnik" ist der Wert der Fachöffentlichkeit präsentiert worden.

Was Altanlagen betrifft, so wurde die ER 25% von allen drei Fachleuten bestätigt. Sie findet sich auch mehrfach in der Literatur für FCKW-Anlagen (s.u.).

Neuanlagen

Konvekta AG, Schwalmstadt www.konvekta.com, 14.02.03, 21.11.03.
 FRIGOBLOCK Grosskopf GmbH, Essen www.frigoblock.de, 04.03.02, Schreiben an ÖR vom 25.09.02.
 Solvay Fluor & Derivate GmbH, Hannover, 26.03.03.
 Christoph Meurer/Winfried Schwarz: Die Kühlkette "Fisch" – eine ökologische Terrainsondierung, DKV-Tagungsbericht 29. Jg., Magdeburg 20.-22. 11.2002, Band II.1, Stuttgart 2003, S. 129-141, weitgehend identisch mit: Christoph Meurer/Winfried Schwarz: Die Kühlkette "Fisch" – eine ökologische Terrainsondierung, in: DIE KÄLTE und Klimatechnik 3/2003, 28-33.

Altanlagen

FKW: Ersatz von R 502 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Texte 29/97, Berlin, Juni 1997, S. 21.

Fachgespräch zum Thema "Umrüstung von bestehenden Kälte- und Klimaanlage in Gewerbe und Industrie" mit dem Kältehandwerk (BIV und VDKF) und der Transfrigoroute, Umweltbundesamt Berlin, 8.5.1995.

5. Laufende HFKW-Emissionen vom Bestand (Neuanlagen)

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER) an den letztlich durch Addition der jährlichen inl. HFKW-Neuzugänge entstandenen mittleren Bestand B_n jenes Jahres (vgl. Abschnitt 2):

$ER_{op} \text{ (in \%)}$	$\times$	B_n
---------------------------	----------	-------

Bei einer ER von 15% für die HFKW-haltigen neuen Kühlaggregate der im Inland zugelassenen Kühlfahrzeuge ergibt sich als Gleichung für die laufenden Emissionen:

$ER_{op} \text{ (15 \%)}$	$\times$	B_n
---------------------------	----------	-------

Die lfd. jährlichen HFKW-Emissionen aus dem Bestand (Neuanlagen) sind (in t/a):

Tab. 7: Mittlerer Bestand und lfd. Emissionen von 134a, 404A, 410A in t/a						
	HFKW-134a		HFKW-404A		HFKW-410A	
	Mittlerer Bestand	Lfd. Emission	Mittlerer Bestand	Lfd. Emission	Mittlerer Bestand	Lfd. Emission
1995	14,6	2,2	45,5	6,8	1,3	0,2
1996	21,1	3,2	65,3	9,8	4,1	0,6
1997	28,9	4,3	87,6	13,1	7,3	1,1
1998	38,4	5,8	114,0	17,1	11,1	1,7
1999	49,5	7,4	142,4	21,4	15,2	2,3
2000	60,9	9,1	168,5	25,3	19,0	2,9
2001	72,2	10,8	192,8	28,9	22,5	3,4
2002	83,2	12,5	217,9	32,7	26,1	3,9

Quelle: Tab. 5 und Gleichung in diesem Abschn. 5.

Kommentar

Die laufenden HFKW-Emissionen aus dem Bestand in Neuanlagen inländischer Kühlfahrzeuge steigen mit dem stetigen Wachstum des mittleren Bestandes konstant an, und zwar bei allen Kältemitteln. Wenn der Bestand bis 2006/07 auf über 400 t (alle Kältemittel zusammen) anwächst, werden die Emissionen ihren Höchststand bei 39 t, 16 t und 6 t (404A, 134a, 410A) erreichen (60 t/a).

6. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Die statistischen Ausgangsdaten der jährlichen Neuzulassungen von Kühlfahrzeugen nach zul. GG sind sehr sicher, da sie amtlich erhoben wurden. Weniger robust ist das Kältemittel-Modell, das die Fahrzeuge in vier verschiedene Größenklassen einteilt mit jeweils repräsentativen Füllmengen und Prozent-Anteilen der Kältemitteltypen. Auf diesem Modell gründen alle wesentlichen Abschätzungen von

Neuzugangs- und Bestandsmengen. Die Verlässlichkeit des Modells kann dadurch möglichst hoch gehalten werden, dass die Experten der wichtigsten Anbieter von Fahrzeug-Kälteanlagen regelmäßig auf diese Parameter hin befragt werden. Da dies von 1996 bis heute praktiziert wurde, kann ein hohes Maß an Datensicherheit unterstellt werden. Andererseits unterliegen die Modell-Parameter der Veränderung, so dass auch künftig immer wieder eine Überprüfung erforderlich ist. Was die Details des R-12-Ersatzes betrifft, so ist ihre Zuverlässigkeit hoch: Ihnen liegt eine eigene Studie für das Umweltbundesamt zugrunde.

Emissionsraten. Die befragten Personen zur ER von Neuanlagen gehören zu den anerkannt kundigsten Experten in der Bundesrepublik. Andere Werte als die "mindestens 15%" wurden aus seriösen Quellen nicht genannt. Die 25% für Altanlagen sind Werte aus der einschlägigen inländischen Fachliteratur, die bislang nicht angezweifelt wurden. Beide Werte, von denen der Neuanlagenwert der wichtigere ist, sind sehr zuverlässig in der Größenordnung. Dass der wirkliche Wert zwei bis drei Prozent nach oben oder unten schwanken kann, ist damit zugleich eingeräumt, da es sich um Erfahrungswerte von Experten, nicht um Messwerte handelt.

7. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Das IPCC-Manual GPG formuliert unter "3.7.4 Stationary refrigeration sub-source category" als allgemeine Gleichung 3.42 der laufenden Emissionen im Rahmen eines Bottom-up approach:

$\text{Operating Emissions} = (\text{Amount of HFC and PFC Stock in year } t) \times (x/100)$

Dabei ist x die Emissionsrate. Als default value (best estimates) wird in Table 3.22 als Emissionsfaktor (% of initial charge/year) für Transport Refrigeration eine Größenordnung von 15 bis 50 genannt, bei einer Lebensdauer von 6-9 Jahren.

ÖR liegt mit seinen länderspezifischen Daten, die laut Box 3 des Decision Tree for Actual Emissions (Tier 2) bevorzugt angewendet werden sollen, an der unteren Grenze des Standardwerts für die Emissionsrate (15%) und bei der Lebensdauer (10 Jahre) über dem "best estimate"-Wert. Beide IPCC-Werte stammen von 1999.

8. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Average annual stocks" und "Emissions from stocks" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihe 29 für 134a, Reihen 32-34 für 404A, Reihen 40-44 für 410A und die Ersatzkältemittel für R-12. Es sind jeweils die Spalten C und I.

II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

Die Neubefüllungen der Kälteaggregate, deren jährliche Zahl nach Füllmenge und Kältemitteltyp in Teil I bestimmt wurde, finden grundsätzlich im Inland statt. Neuzugang im Inland (In_{bank}) und inländischer Neuverbrauch zur Herstellung (C_{manu}) sind daher identisch. Es gibt eine bedeutende Ausnahme: Von den neuen 404A-Anlagen werden ca. 60% im Ausland befüllt und fertig importiert. Es handelt sich um die Systeme der beiden Weltmarktführer Thermo King und Carrier.

Dies ist bei der Ermittlung der inländischen Fertigungsemissionen zu beachten. Ebenso der Umstand, dass in den Jahren des vorgezogenen R-12-Ersatzes im Inland neue HFKW (bzw. auch kleine Mengen FKW) auch in Altanlagen gefüllt wurden.

9. Aktivitätsdaten II. Zahl der im Inland befüllten Anlagen

Tab. 9 enthält die Zahl der im Inland erstmals mit HFKW- bzw. FKW befüllten Fahrzeugkälteanlagen, und zwar Neu- und Altanlagen. Die 404A-Anlagen sind zahlenmäßig bereits auf 40% ihrer Gesamtzahl reduziert. Letzteres ist die einzige Änderung gegenüber den entsprechenden Tabellen in Teil I.

Tab. 9: Zahl der im Inland befüllten Fahrzeugkälteanlagen nach Kältemittel und Jahr						
Kältemittel	404A	134a	410A	152a	218	134a II
1995	1.487	2.401	371	-	-	-
1996	1.682	2.858	411	75	75	800
1997	1.832	3.523	455	75	75	800
1998	2.224	4.480	565	75	75	800
1999	2.140	4.966	543	75	75	800
2000	1.903	4.890	474	-	-	-
2001	1.895	4.887	471	-	-	-
2002	1.905	3.928	504	-	-	-

Erläuterung: Mit 134a II ist der HFKW-134a gemeint, der in Altanlagen gefüllt wurde, sei es als Komponente in Servicekältemitteln oder pur.

Die Methode der Ermittlung, die Informationsquellen und die Bewertung der Datensicherheit sind in Teil I behandelt und werden an dieser Stelle nicht wiederholt.

10. Rate der Fertigungsemissionen

Die Kältemittelverluste beim Befüllen werden auf 5 Gramm pro Anlage geschätzt, und zwar unabhängig von deren Größe. Der Befüllverlust 5 g/Anlage ist ein von Kältehandwerkern bestätigter Standardwert für Schlauchverluste bei Vor-Ort-Befüllung.

11. Die jährlichen Fertigungsemissionen

Gegenüber den laufenden Emissionen vom Bestand sind Befüllverluste gering. Ihre Bedeutung wird durch die Tatsache noch geringer, dass sie per definitionem nur ein Mal während der Lebensdauer einer Anlage auftreten. Außerdem fallen die 404A-Verluste nur zu 40% im Inland an. Die Befüllemmissionen werden in Tab. 10 dem inl. Neuverbrauch (C_{manu}) gegenübergestellt (gemäß den Anforderung für das CRF), auch wenn sie nicht als Prozentsatz davon berechnet worden sind.

Tab. 10: Inländ. Neuverbrauch und Befüll-Emissionen von 404A, 134a, 410A in kg/a						
	HFKW-134a		HFKW-404A		HFKW-410A	
	Neu- Verbrauch	Befüll- Emission	Neu- Verbrauch	Befüll- Emission	Neu- Verbrauch*	Befüll- Emission
1995	5.942	12	7.397	7	2.643	2
1996	7.026	14	8.414	8	2.981	2
1997	8.462	18	9.419	9	3.375	2
1998	10.652	22	11.696	11	4.246	3
1999	11.562	25	11.074	11	4.007	3
2000	11.246	24	9.762	10	3.500	2
2001	11.236	24	9.727	9	3.486	2
2002	10.863	20	10.305	10	3.814	3

Quelle für inl. Neuverbrauch: Tab. 3 in Teil I.

* Der inl. Neuverbrauch von 404A umfasst nur 40% des inländischen HFKW-Zugangs.

Zur Beachtung: Die Mengen sind nicht in Tonnen, sondern in Kilogramm angegeben.

Außerdem: Emissionen beim Befüllen von R-12-Altanlagen in den Jahren 1996-1999 betrugen für

- HFKW-134a jeweils 4 kg/a,
- HFKW-152a jeweils 0,4 kg/a,
- FKW-218 jeweils 0,4 kg/a.

Werden die Befüllemmissionen in Tab. 10 (5 g/Anlage) rechnerisch auf den Neuverbrauch in Tab. 10 bezogen, ergibt sich eine Relation von ca. 0,2% bei 134a und 0,05% bei 410A. Der Grund so großer relativer (nicht absoluter) Differenzen ist, dass HFKW-134a vor allem in kleine Anlagen von ca. 2 kg gefüllt wird, während 410A typisch für Anlagen bis 9 kg Füllgewicht ist.

12. Datensicherheit II

Zu den Aktivitätsdaten ist nichts zu sagen, was über die Ausführungen in Teil I hinausginge. Der Emissionsfaktor 5 g/Anlage wurde bei zahlreichen Kältetechnikern abgefragt und kann als zuverlässiger Mittelwert gelten.

13. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Zu den Fertigungsemissionen gibt es "best estimates" in Table 3.22 (IPCC GPG) für "initial emission" in % der Erstfüllung. Die Größenordnung beträgt 0,2 bis 1 Prozent. Die länderspezifischen Daten von ÖR liegen mit 0,2 bis 0,05% an der unteren Grenze bzw. unterhalb jener best estimates, die auf den Expertenurteilen gründen. Im Übrigen kommt der Wert von ÖR nicht als Prozentsatz der Füllmenge, sondern als fester Verlust von 5 Gramm pro Anlage zustande. Der Wert kann als realitätsnäher gelten, da der Befüllverlust keine lineare Funktion der Füllmenge ist.

14. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emission from manufacturing" bei der Transportkälte primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, und zwar Reihe 29 für 134a, Reihen 32-34 für 404A, Reihen 40-44 für 410A und die Ersatzkältemittel für R-12. Es sind jeweils die Spalten B und H.

F-Gas-Blatt 2 Kühlcontainer

F-Gase	HFKW 134a, HFKW 404A
Anwendung	Kühlcontainer
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand

Methodische Vorbemerkung

Kühlcontainer werden vor allem für den Transport verderblicher Waren auf Seeschiffen eingesetzt. Sofern sie Kältemittel verlieren, erfolgt die Emission vorzugsweise in internationalen Gewässern, für die kein Nationalstaat rechtlich zuständig ist. Da die Staaten aber am Welthandel beteiligt sind, der ohne eine Welthandelsflotte nicht denkbar ist, scheint es plausibel, jene Kältemittlemissionen entsprechend dem Anteil eines Landes am Welthandel aufzuteilen. Diese Auffassung wird vom Umweltbundesamt vertreten. Dem Anteil Deutschlands von ca. 10% am Welthandel gemäß werden die Emissionen aus dem weltweiten Bestand von Kühlcontainern zu 10% den nationalen Emissionen zugerechnet, unabhängig davon, wo sie erfolgen und wem rechtlich die Schiffe oder die darauf befindlichen Container gehören.

Hintergrund

Neue Kühlcontainer sind fast ausschließlich "integriert": An ihrer Stirnwand ist ein Kälteaggregat fest montiert, das an Bord elektrisch angeschlossen wird. Ein typisches Containerschiff hat ca. 6.000 Stellplätze (6 Lagen auf, 6 Lagen unter Deck), von denen etwa 10% mit einer Bordnetz-Steckdose ausgerüstet sind. Der weltweit noch wachsende Bestand an Kühlcontainern (reefer container) beträgt ca. 1 Mio. TEU (Twenty Feet Equivalent Units), die Stückzahl liegt bei ca. 600 Tsd. Der Unterschied kommt daher, dass es sowohl Einheiten mit 20 ft. als auch mit 40 ft. Länge gibt. Ein 40 ft. Container wird zu 2 TEU umgerechnet.

Ein typisches Kälteaggregat mit Kolbenverdichter des Weltmarktführers Carrier enthält 6 kg (5 Liter) HFKW-134a. Wegen universeller Verfügbarkeit in den Häfen der Welt wurde im Zuge der Ablösung des FCKW-12 ab 1993 der HFKW-134a als einheitliches Kältemittel eingeführt. Thermo King, der zweitgrößte im Markt (außerdem gibt es nur noch die beiden japanischen Hersteller Mitsubishi und Daikin), setzt seit 1997 auch 404A ein, das in der Tiefkühlung energetische Vorteile aufweist und – wegen seines Scroll-Kompressors – mit 4 kg Kältemittel auskommt. Dennoch gibt es keinen generellen Trend zur Senkung der Kältemittelmenge pro Container. Die Tendenz im Containerbau geht in Richtung auf längere Boxen (40 ft.). Das führt wiederum dazu, dass Kühlcontainer verstärkt zwei statt nur ein Kälteaggregat haben.

Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

1 Aktivitätsdaten. Der weltweite jährliche HFKW-Neuzugang

1.a Die jährliche Weltproduktion von Kühlcontainern

Im Regelfall hat ein Kühlcontainer nur ein Kälteaggregat, unabhängig davon, ob er 20 oder 40 ft. lang ist. Obwohl die weltweite jährliche Produktion von Kühlcontainern (reefer container) in Längenmaßen von je 20 Fuß erhoben wird, interessieren hier nicht Messgrößen, sondern physische Einheiten. Die Stückzahl seit 1993 ist in Tab. 1 eingetragen. Sie weist trotz Schwankungen eine klare Aufwärtstendenz auf.

Tab. 1: Weltproduktion von Kühlcontainern mit HFKW-Kältemaschine von 1993-2002										
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Stückzahl	32.750	37.000	46.250	44.750	50.750	51.750	50.250	55.000	53.000	65.000

Quelle: World Container Census.

1.b Das Kältemittel-Modell für Kühlcontainer

Tab. 2: Typische HFKW-Kältemittel bei Kühlcontainern nach Füllmengen und Anteilen										
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Füllmenge 134a	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2. Füllmenge 404A					4	4	4	4	4	4
3. Anteil HFC	30%	60%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
- dav. 134a	100%	100%	100%	100%	90%	88%	86%	84%	82%	80%
- dav. 404A					10%	12%	14%	16%	18%	20%

Quellen: Abschnitt 3. Anmerkung: HFKW-404A wird erst seit 1997 eingesetzt.

In Tab. 2 sind die beiden wichtigen Kältemittel 134a und 404A nach ihren Füllmengen und Marktanteilen bei Kühlcontainer-Kälteaggregaten eingetragen. Die mittleren HFKW-Füllmengen sind seit 1993 bzw. 1997 konstant. Eine 134a-Anlage enthält 6 kg, eine 404A-Anlage 4 kg. Zeile 3 zeigt die stufenweise Einführung der HFKW als Kältemittel für neue Kühlanlagen. Sie begann 1993 mit 30% (Rest: R-12 oder -22) und war 1996 (100%) vollendet. Die nächste Zeile zeigt, dass 134a nur vier Jahre lang einziger HFKW (100%) für Kühlcontainer war; seit 1997 wird auch 404A genutzt. Dessen Anteil (letzte Zeile) stieg von anfangs 10% langsam auf das Doppelte, ohne die führende Position von 134a (80% in 2002) schon zu gefährden.

1.c Der jährliche HFKW-Zugang in Kühlcontainer-Aggregaten

Mit Hilfe der jährlichen Stückzahlen aus Tab. 1 in Kombination mit den Füllmengen und Kältemittelanteilen aus Tab. 2 lässt sich der HFKW-Neuzugang (Erstbefüllungen) für jedes Jahr von 1993 bis 2002 in t ermitteln.

Für 134a ergibt sich der Neuzugang im Jahr n ($In_{\text{bank } n}$) in zwei Schritten: Erstens: Gewichtung der Stückzahl des Jahres n (Tab. 1) mit dem prozentualen Anteil von 134a im gleichen Jahr (Tab. 2). Zweitens Multiplikation der gewichteten Stückzahl mit 6 kg Füllmenge (ebenfalls Tab. 2). Für 404A wird entsprechend verfahren.

Den weltweiten HFKW-Neuzugang pro Jahr für neue Kühlcontainer enthält Tab. 3:

Tab. 3: Weltweiter HFKW-Zugang in neuen Kühlcontainern 1993-2002 in t/a		
	HFKW-134a	HFKW-404A
1993	59,0	-
1994	133,2	-
1995	249,8	-
1996	268,5	-
1997	274,1	20,3
1998	273,2	24,8
1999	259,3	28,1
2000	277,2	35,2
2001	260,8	38,2
2002	312,0	52,0

Quellen: Stückzahlen und Anteile der Kältemitteltypen lt. Tab. 1. Zugrunde liegen als Füllmengen pro Kälteanlage 6 kg bei 134a, 4 kg bei 404A.

2. Der weltweite HFKW-Bestand in Container-Kälteanlagen

Der HFKW-Endbestand (EB) eines Jahres in Container-Kälteanlagen erhöht sich um den HFKW-Zugang in neuen Anlagen (In_{bank}) im laufenden Jahr n. Der mittlere weltweite Bestand B n ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres n-1 und des Jahres n. Als Formel:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2} \quad \text{wobei} \quad EB_n = EB_{n-1} + \text{In}_{\text{bank } n}$

Der mittlere Jahresbestand B n in Kühlcontainern weist folgende Zeitreihe auf

Tab. 4: Mittlerer jährlicher HFKW-Bestand (B n) in Kühlcontainern 1995-2002 in t/a		
	HFKW-134a	HFKW-404A
1995	317	-
1996	576	-
1997	847	10
1998	1.121	33
1999	1.387	59
2000	1.656	91
2001	1.925	128
2002	2.211	173

Quelle: Tab. 3 in Verbindung mit vorstehender Gleichung.

Kommentar zur Zeitreihe der Aktivitätsdaten

Die weltweite Neuzugang des HFKW-134a stieg bis 1997 stetig an. Seitdem stagniert er, weil 134a das anhaltende Mengenwachstum mit dem HFKW-404A teilen muss. Die mittleren jährlichen Bestände beider Kältemittel sind seit ihren ersten Einsatzjahren (1993 bzw. 1997) zügig gewachsen. Eine Sättigung könnte erreicht sein, wenn die FCKW-haltigen Kälteaggregate alle ausgetauscht sind und ein Bestand in "units" von 800.000 Kühlcontainern erreicht ist. Für 134a wäre der Höchststand im Jahre 2012 bei etwa 3.800 t; 404A könnte 2016 sein Maximum mit 640 t erreichen (wenn der Anteil von 20% am Kältemittel-Neuverbrauch anhält).

Da ein Austausch von R-12 in bestehenden Kälteaggregaten praktisch nicht vorkam, muss die Zeitreihe nicht für die 90er Jahre modifiziert werden.

3. Ermittlung und Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Die Daten über die jährlichen Stückzahlen von reefer containers entstammen dem Informationsdienst World Cargo News (UK). Dort wird periodisch der World Container Census wiedergegeben. Seine Resultate werden für das Vorjahr auch im Internet präsentiert - im Containerhandbuch des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft. Die Daten zum Übergang von FCKW zu HFKW entstammen neben schriftlichen Quellen vor allem Gesprächen mit Experten des Weltmarktführers Carrier Transicold (Rotterdam) und dem deutschen Container-Experten Karl-Heinz-Hochhaus (TU Hamburg-Harburg). Zu Füllmengen der Kälteaggregate und der Verteilung der Kältemitteltypen wurden außerdem Gespräche mit Experten der Containerlinie Hapag-Lloyd geführt.

Persönliche Mitteilungen

Carrier Transicold, Rotterdam, www.container.carrier.com, 23.09.96, 23.09.96, 22.06.98, 12.09.02.

TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Hilfsmaschinen und Automation, 30.09.96, 06.12.96, 08.06.99, 12.09.02.

Verband Deutscher Reeder, Hamburg, 24.09.96.

World Cargo News June 2002: Jahresproduktion von Kühlcontainern 1990-2002 nach Größe und Typ www.worldcargonews.com/html/n_wcn20030615.776248.htm

Yves Wild, Kühlcontainer und CA-Technik, in: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV), Berlin 2003: www.containerhandbuch.de. Darin www.containerhandbuch.de/chb/wild/index.html.

Hapag-Lloyd Container-Linie GmbH, Hamburg, 15.08.02, 02.10.02.

Schriftliche Quellen

IICL report finds leasing industry getting greener, in: Container Management, November 1994, S. 29.

An end to cold fleet? (Steve Coulter), in: Container Management, November 1994, S. 33.

Hochhaus, K.H., Entwicklungen in der Kühlcontainer-Transporttechnik, in: euromodal (Basel), 1/94, S. 15-19.

Containerisation International, Sonderheft Market Analysis: More Cool Growth, January 1996, S. 29-32.

Dr. Yves Wild, Hamburg: Kühltransport und Kühlagerung unter Einsatz von "Kontrollierter Atmosphäre" (CA) und "Modifizierter Atmosphäre" (MA), <http://www.tis-gdv.de/tis/vortraeg/wild/wild.htm>

4. Die Rate der laufenden Emissionen vom Bestand

Die laufenden HFKW-Emissionen aus Kälteaggregaten von Kühlcontainern werden auf 10% geschätzt. Dieser, gemessen an Kühlfahrzeugen, niedrige Wert hängt erstens mit der halbhermetischen und – zunehmend - hermetischen Bauart der Verdichter zusammen und zweitens mit der geringeren Belastung durch mechanische Erschütterungen auf See.

5. Informationsquellen zur Emissionsrate

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Es liegen keine systematischen Messungen der laufenden Emissionen vor. Die Experten der deutschen Containerlinie Hapag-Lloyd schätzen die Emissionen aus

neuen Kälteanlagen von Kühlcontainern auf lediglich 5%/a (für ihre eigenen Systeme). Sie begründen diesen niedrigen Wert mit hermetischer Bauart des Verdichters und seinem elektrischen Antrieb aus dem Bordnetz. Wird jedoch die Alterung der Kälteaggregate über eine Lebensdauer von 15 Jahren in Rechnung gestellt sowie der Umstand, dass viele ausländische Reedereien nicht auf die niedrigen Emissionswerte kommen, dann scheint die Emissionsrate von 10% jährlich plausibel, die im UNEP RTOC-Report 2002 präsentiert wird. Dänische Experten (Kauffeld/Christensen), hatten 1998 noch 20% jährlichen Verlust angenommen. Es ist zu beachten, dass im Falle von Kühlcontainern nationale Emissionsfaktoren ohnehin deplaziert sind, da die Bezugsgröße der Emissionen von vorneherein die Weltflotte ist.

Hapag-Lloyd Container-Linie GmbH, Hamburg, 15.08.02, 02.10.02.

Christoph Meurer/Winfried Schwarz: Die Kältekette "Fisch" – eine ökologische Terrainsondierung, DKV-Tagungsbericht 29. Jahrgang, Magdeburg 20.-22. 11.2002, Band II.1, Stuttgart 2003, S. 129-141 - weitgehend identisch mit: Christoph Meurer/Winfried Schwarz: Die Kältekette "Fisch" – eine ökologische Terrainsondierung, in: DIE KÄLTE und Klimatechnik 3/2003, 28-33.

Kauffeld, M., and Christensen, K.G.: A new energy-efficient reefer container concept using carbon dioxide as refrigerant. Proceedings of the IIR conference: Natural Working Fluids, Trondheim, 1998, pp. 1-10.

UNEP (United Nations Environment Programme); 2002 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee (RTOC); Nairobi, January 2003.

6. Laufende HFKW-Emissionen vom Bestand (nur deutscher Anteil)

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER) an den letztlich durch Addition der jährlichen Neuzugänge entstandenen mittleren Bestand B_n jenes Jahres (vgl. Abschnitt 2):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei einer ER von 10% für die HFKW-haltigen Kühlaggregate der Container ergibt sich als Gleichung für die laufenden Emissionen:

ER_{op} (10 %)	x	B_n
------------------	---	-------

In Tab. 5 werden die jährlichen HFKW-Emissionen aus dem mittleren Bestand nach Kältemittel in t/a dargestellt, und zwar nur der deutsche Anteil, der auf 10% der weltweiten Emissionen bzw. mittleren Bestände geschätzt wird.

Tab. 5: Deutscher Anteil (10%) an mittlerem Bestand und lfd. Emissionen von 134a und 404A von Kühlcontainern der Weltflotte - in t/a				
	HFKW-134a		HFKW-404A	
	Mittlerer Bestand	Emission	Mittlerer Bestand	Emission
1995	31,7	3,17	-	-
1996	57,6	5,76	-	-
1997	84,7	8,47	1,02	0,10
1998	112,1	11,21	3,27	0,33
1999	138,7	13,87	5,92	0,59
2000	165,6	16,56	9,09	0,91
2001	192,5	19,25	12,76	1,28
2002	221,1	22,11	17,26	1,72

Kommentar

Die laufenden Emissionen aus dem Bestand steigen mit dem stetigen Wachstum des mittleren Bestandes konstant an, und zwar bei beiden Kältemitteln. Wenn der Bestand bis 2012 bei 134a weltweit auf über 3.800 t und bis 2016 bei 404A auf über 640 t anwächst, werden die der Bundesrepublik zuzurechnenden 10% lfd. Emissionen ihren Höchststand bei 38 t bzw. 6,4 t (zus. > 44 t/a) erreichen.

7. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle

Aktivitätsdaten. Die statistischen Ausgangsdaten aus dem World Container Census sind solide, auch wenn die Stückzahlen jeweils auf die nächsten 500 auf- oder abgerundet werden. Der Übergang von FCKW zu HFKW von 1993 bis 1996 ist gut erforscht, mag aber dennoch in einzelnen Jahren 10% mehr oder weniger HFKW-Anteil betragen. Der Marktanteil von 404A gegen 134a wurde von mehreren Experten übereinstimmend geschätzt. Die Füllmengen der Kühlaggregate sind Mittelwerte, die in der Realität maximal $\pm 10\%$ abweichen können. Dennoch müssen diese Daten (Füllmengen und Kältemittelverteilung) periodisch überprüft werden.

Emissionsrate. Die befragten Hapag-Lloyd Sachkundigen zur ER gehören zu den kompetentesten Experten in Deutschland. Andere Werte als die "maximal 5%" wurden bisher für Deutschland nicht genannt. Dem Wert liegen Erfahrungen aus effektiven Nachfüllungen zugrunde, die teilweise (firmenintern) aufgezeichnet worden sind. Da die hier infrage kommenden Emissionen allerdings grundsätzlich solche der weltweiten Flotte sind, von denen zehn Prozent auf Deutschland bezogen werden, zählen länderspezifische Emissionsfaktoren hier nicht. Für weltweite Daten (10% weltweiter Emissionsfaktor) wiederum sind die UNEP-Experten fraglos eine verlässliche Quelle.

8. Verhältnis zur IPCC-Methode

Das IPCC-Manual GPG befasst sich zwar mit Transport Refrigeration, meint allerdings durchweg Kühlfahrzeuge auf der Straße. Grundsätzlich ermittelt ÖR die zur Durchführung eines dort allgemein beschriebenen "bottom-up approaches" erforderlichen Daten länderspezifisch, was im Falle der Kühlcontainer in Bezug auf die Emissionsrate aber keinen Sinn macht. Denn die Bezugsgröße ist aus methodologischen Gründen die weltweite Containerflotte, nicht die nationale.

9. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Average annual stocks" und "Emissions from stocks" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, und zwar Reihe 30 für 134a, Reihen 35-38 für 404A. Es sind jeweils die Spalten C und I.

10. Bemerkung zu Fertigungsemissionen und inländischem HFKW-Neuverbrauch

In Deutschland werden keine Kühlcontainer gefertigt und keine Kälteaggregate dafür gebaut oder erstmalig befüllt. Kühlcontainer stammen zu über 80% aus China und nur zu etwa 15% aus Europa. Emissionen aus der Befüllung fallen im Inland nicht an. Die denkbare Alternative, auch die Befüllungsverluste nach Länderquoten entsprechend dem Anteil am Welthandel aufzuteilen, wurde verworfen - aufgrund der geringen Mengen und auch wegen der Fragwürdigkeit eines solchen Verfahrens, da die Befüllungsverluste eindeutig bestimmten Ländern zuordenbar sind.

F-Gas-Blatt 3 Wärmepumpen

F-Gase	HFKW 134a, HFKW 404A, HFKW-407C, HFKW-410A
Anwendung	Wärmepumpen
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen

Hintergrund

Mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kältemittelkreislaufs erzeugen Wärmepumpen Nutzwärme aus Umweltwärme. Das Kältemittel nimmt dabei die Wärme aus Umgebungsmedien auf und bringt sie auf höhere Temperatur. Je nach Wärmequelle wird von drei Kategorien von Heizungs-Wärmepumpen gesprochen. Systeme, welche die im Erdreich gespeicherte Energie (über Sonden oder Rohrschlangen) aufnehmen, sind am häufigsten. Sie ähneln denen, die dem Grundwasser Wärme entziehen, das über Förderbrunnen herangeführt wird. Die dritte Art von Heizwärmepumpe nutzt Energie der Umgebungsluft (innen oder außen).

Die Wärmepumpe ist ein vorwiegend für Ein- und Mehrfamilienhäuser eingesetztes Heizsystem, das zwar an Bedeutung gewinnt, aber noch wenig verbreitet ist.

Außer Heizungswärmepumpen gibt es auch einfache Warmwasser-Wärmepumpen, die Umgebungswärme (meist Abwärme in der Luft) für die Erwärmung von Wasser nutzen.

In Deutschland gibt es etwa 20 Hersteller von Wärmepumpen, die zurzeit vier verschiedene HFKW-Kältemittel und zu gewissem Teil auch Propan verwenden.

I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

1 Aktivitätsdaten I. Der HFKW-Neuzugang im Inland

1.a Der jährliche Inlandsabsatz von Wärmepumpen nach Wärmequelle

Der Bundesverband Wärmepumpe (BWP) veröffentlicht jährlich die Anzahl der im Inland neu installierten Wärmepumpen nach Art bzw. Wärmequelle, soweit sie von den Mitgliedsunternehmen stammen. Tab. 1 gibt diese Zahlen wieder - auf den Gesamtmarkt hochgerechnet (Repräsentationsgrad der BWP-Unternehmen: 90%).

Tab. 1: Inländischer Absatz von Wärmepumpen von 1995-2002								
System	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Warmwasser-WP	3.111	3.333	3.889	4.111	4.444	4.778	5.000	4.536
2. Heiz-WP-Luft	556	576	768	719	860	1.103	1.736	1.693
3. Heiz-WP-Wasser	222	303	647	627	597	660	1.376	1.599
4. Heiz-WP-Erdreich	1.667	1.688	2.563	3.507	3.787	4.610	6.017	5.959
Stückzahl gesamt	5.556	5.900	7.867	8.963	9.688	11.151	14.128	13.787

Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP), München. Hochrechnung von 90% auf 100%.

Seit 1995, dem ersten Jahr des generellen Einsatzes chlorfreier Kältemittel (bis auf Reste von HFCKW-22), ist der Inlandsabsatz aller vier Wärmepumpensysteme laufend gestiegen. Erstmals gab es im Jahr 2002 einen Rückgang, der vom BWP mit rückläufiger Bautätigkeit erklärt wird.

1.b Das Kältemittel-Modell für Wärmepumpen

Zur Bestimmung der Kältemittel-Neuzugänge im Inland seit 1995 wird ein mit Hilfe von Branchenexperten entwickeltes Modell (Tab. 2) benutzt, das für drei Kategorien von Wärmepumpen (Systeme mit Wärmequelle Erdreich und Grundwasser sind zu einer zusammengefasst) sowohl die Füllmengen (bei HFKW) als auch die verwendeten Kältemittel-Typen nach prozentualen Anteilen enthält.

Tab. 2: Typische Kältemittel bei Wärmepumpen nach Füllmenge, Anteilen und Jahr									
System	1. WW -WP	2. HeizWP Luft			3. HeizWP Erdreich/Wasser				
Füllm.	0,8 kg	3,0 kg (bei HFKW)			1,9 kg (bei HFKW)				
Kältem.	134a	404A	407C	R-290	407C	410A	404A	134a	R-290
1995	100%	48%	48%	4%	15%	-	5%	5%	50%
1996	100%	48%	48%	4%	20%	-	5%	5%	60%
1997	100%	48%	48%	4%	20%	-	5%	5%	70%
1998	100%	48%	48%	4%	35%	15%	5%	5%	40%
1999	100%	48%	48%	4%	45%	15%	5%	5%	30%
2000	100%	48%	48%	4%	55%	15%	5%	5%	20%
2001	100%	48%	48%	4%	60%	15%	5%	5%	15%
2002	100%	48%	48%	4%	60%	15%	5%	5%	15%

Quellen: s. Abschnitt 2 (Informationsquellen). Die hier präsentierte Fassung geht in großen Teilen auf Kai Schiefelbein (Arbeitsgruppe Technik im BWP) zurück.

Erläuterung: R-290 ist der kältetechnische Begriff für Propan. 1995 u. 96 ergibt die Summe der Kältemittel-Prozente bei System 3 nicht 100, weil noch ein Rest auf HFCKW-22 entfiel.

1.c Der jährliche HFKW-Zugang durch neue inländische Wärmepumpen

Der jährliche Neuzugang (In_{bank}) eines bestimmten Kältemittels im Jahr n ergibt sich in zwei Schritten. Erstens durch Gewichtung der Stückzahl eines bestimmten Wärmepumpen-Systems des Jahres n (Tab. 1) mit dem prozentualen Anteil des Kältemittels für das entsprechende System – gemäß Tab. 2, Zeile "Kältemittel". Zweitens: Multiplikation der Kältemittel-gewichteten Stückzahl mit der zugehörigen Füllmenge in kg – nach Tab. 2, Zeile "Füllmenge". Daraus leitet sich der HFKW-Zugang lt. Tab. 3 ab.

Tab. 3: HFKW-Neuzugang durch inländische Wärmepumpen 1995-2002 in t/a				
	HFKW-134a	HFKW-404A	HFKW-407C	HFKW-410A
1995	2,7	1,0	1,3	- *
1996	2,9	1,0	1,6	- *
1997	3,4	1,4	2,3	- *
1998	3,7	1,4	3,8	1,2
1999	4,0	1,7	5,0	1,2
2000	4,3	2,1	7,1	1,5
2001	4,7	3,2	10,9	2,1
2002	4,3	3,2	11,1	2,2

Quellen: Stückzahlen lt. Tab. 1. Anteile der Kältemitteltypen und Füllmengen lt. Tab. 2.

* In diesen Jahren wurde 410A noch nicht eingesetzt, dafür mehr Propan (R-290).

2. Der HFKW-Bestand in Wärmepumpen

Der HFKW-Endbestand eines Jahres (EB_n) in Wärmepumpen im Inland erhöht sich jährlich um den inländischen Neuzugang (In_{bank}), solange keine Abgänge vorkommen, was bei der Lebensdauer 15 Jahre noch nicht systematisch der Fall ist.

Der mittlere Jahres-Bestand (B_n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres (EB_{n-1}) und des laufenden Jahres (EB_n). Als Gleichung:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2} \quad \text{wobei} \quad EB_n = EB_{n-1} + In_{bank\ n}$

Der mittlere Jahresbestand (B_n) weist folgende Zeitreihe auf

Tab. 4: Mittlerer jährlicher HFKW-Bestand (B_n) in Wärmepumpen seit 1995 in t/a				
	HFKW-134a	HFKW-404A	HFKW-407C	HFKW-410A
1995	1,3	0,5	0,7	-
1996	4,1	1,5	2,1	-
1997	7,2	2,7	4,1	-
1998	10,8	4,1	7,1	0,6
1999	14,6	5,7	11,5	1,8
2000	18,8	7,5	17,6	3,2
2001	23,3	10,2	26,2	5,0
2002	27,8	13,4	37,6	7,1

Quelle: Tab. 3 in Verbindung mit der Gleichung in diesem Abschnitt.

Kommentar zur Zeitreihe der Aktivitätsdaten I

Der Zugang des HFKW-134a, der zu 95% bei Warmwasser-Wärmepumpen eingesetzt wird, stieg dem Gesamttrend entsprechend bis 2001 stetig an, ging 2002 leicht zurück. Der Bestand wuchs folglich ebenfalls stetig. Vergleichbares ist zu 404A zu sagen, das seinen Einsatzschwerpunkt in Luft-Heizwärmepumpen hat. Die Entwicklung des Neuzugangs von 407C hat sich seit 1998 stark beschleunigt. Seit 1999 ist es stärkstes Kältemittel im Markt, seit 2001 auch im Bestand. Hintergrund ist der Einbruch bei Propan (R-290), das bis 2001 von seinem 1997er Marktanteil von 70% bei Erdreich/Grundwasser-Wärmepumpen drei Viertel eingebüßt hat. 407C und – zu geringerem Grad – 410A übernahmen diese Anteile (vgl. Tab. 2).

Vorzeitiger R-12-Ersatz in Altanlagen spielte bei Wärmepumpen so gut wie keine Rolle, zumal schon lange vor 1995 R-22 das Standardkältemittel gewesen war.

Gemessen an anderen Anwendungen sind HFKW-Neuzugänge und –Bestände bei Wärmepumpen nicht groß. Der Gesamtbestand aller vier HFKW-Typen zusammen belief sich 2002 auf 86 t - in 77.000 HFKW-haltigen Anlagen. Wird ein hohes konstantes Wachstum bei Neuanlagen von 3% für Heiz- und 2% für Warmwasser-Wärmepumpen angenommen, wären es in 2020 allerdings fast 280.000 Anlagen mit einem HFKW-Bestand von 420 t, davon 220 t 407C.

3. Ermittlung und Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Die jährlichen Stückzahlen gehen auf Meldungen der Mitgliedsunternehmen des BWP zurück. Die Daten für das Kältemittel-Modell zu Füllmengen und zur Verteilung der Kältemitteltypen auf die verschiedenen Segmente entstammen direkten Befragungen von Experten der in ihren Teilmärkten jeweils führenden Hersteller. Das sind sechs von insgesamt zwanzig. Auch die Informationen über den Übergang von FCKW/HFCKW zu chlorfreien Kältemitteln und die Auf- und Ab-Entwicklung von Propan entstammen den seit 1995 durchgeführten Direktbefragungen.

KKW Kulmbacher Klimageräte-Werk GmbH, Kulmbach, 04.04.95, 13.06.96, 19.03.99, 18.11.03.
 Brandt Group Hausgeräte GmbH (Blomberg), Ahlen, 19.03.99, 23.10.02, 12.06.96, 19.11.03.
 Waterkotte Wärmepumpen GmbH, Herne, 21.10.02.
 Stiebel-Eltron GmbH & Co. KG, Holzminden, 19.03.99, 21.10.02, 18.11.03.
 Alpha-InnoTec GmbH, Kasendorf, 19.11.03.
 HAUTEC AG, Bedburg-Hau, 19.11.03.
 Bundesverband WärmePumpe (BWP) e.V. (vorm. Initiativkreis WärmePumpe e.V.),
<http://www.waermepumpe-bwp.de> München, 21.10.02, 18.11.03, 21.11.03.

4. Rate der laufenden Emissionen vom Bestand

Die laufenden HFKW-Emissionen aus Heizwärmepumpen werden auf 2,5% jährlich geschätzt. Die ER aus Warmwasser-Wärmepumpen ist mit 2,0%/a etwas niedriger.

5. Informationsquellen zur Emissionsrate

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Die lange Zeit einzige veröffentlichte ER 2,5% für Heiz- und ca. 1,5% für Warmwasser-Wärmepumpen geht auf eine Direktbefragung von ÖR aus dem Jahr 1995 zurück, die in einer Studie für Greenpeace veröffentlicht und vom Statusbericht für das Umweltbundesamt "Ersatz von R-12" im gleichen Jahr übernommen wurde.

Im Jahr 2003 wurden diese Werte wieder kontrolliert. Hervorzuheben ist das Fachgespräch mit Dr. Kai Schiefelbein (Stiebel-Eltron und Arbeitsgruppe Technik im BWP). Er hat über 5 Jahre laufende Kundendienst-Protokolle auf Ursachen und Mengen von Nachfüllungen ausgewertet und gelangte zu Mittelwerten von ca. 1% für schleichende und Service-Emissionen und zusätzlich ca. 1% aus Havariefällen.

Für die Gesamtheit der installierten HFKW-Heizwärmepumpen hielt Schiefelbein 2,5%/a ER nicht für unrealistisch, so dass dieser Wert weiter genutzt wird. Aus Reihen der Hersteller von Warmwasser-Wärmepumpen wurde laut, dass letztere in der Dichtheit höher zu bewerten seien (keine Serviceöffnung für potenziellen Kältemittelaustritt). Dem Einwand trägt die mit 2,0% um 0,5% niedrigere ER bei diesen Anlagen Rechnung.

KKW Kulmbacher Klimageräte-Werk GmbH, Kulmbach, 04.04.95, 19.03.99.

Öko-Recherche, Keine Entwarnung für Ozonschicht und Erdklima. Verbrauchsprognose 1995 für FCKW, H-FCKW und FKW (Greenpeace-Studie), Hamburg 1995, S.14.

<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/keine-entwarnung.pdf>.

FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Ersatz von R 12 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Statusbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Hannover, November 1995. S. 96. Arbeitsgruppe Technik im BWP, 18.11.03.

Brandt Group Hausgeräte GmbH (Blomberg), Ahlen, 19.11.03.

6. Laufende HFKW-Emissionen vom Bestand

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER_{op}) an den durch Aufsummierung der jährlichen Neuzugänge entstandenen mittleren Bestand (B_n) jenes Jahres (vgl. Abschnitt 2):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei einer ER von 2,5% für HeizWP ergibt sich als Gleichung für die lfd. Emissionen:

ER_{op} (2,5 %)	x	B_n
-------------------	---	-------

Bei Warmwasser-Wärmepumpen (nur 134a) wird ER 2,0% eingesetzt. (Der Einfachheit halber wurden die wenigen Heiz-WP mit 134a ebenso behandelt.)

In Tab. 5 werden die jährlichen HFKW-Emissionen aus dem mittleren Bestand nach Kältemitteln in t/a dargestellt.

Tab. 5: Laufende HFKW-Emissionen aus dem Bestand in Wärmepumpen seit 1995 in t/a				
	HFKW-134a	HFKW-404A	HFKW-407C	HFKW-410A
1995	0,03	0,01	0,02	-
1996	0,1	0,04	0,05	-
1997	0,1	0,07	0,1	-
1998	0,2	0,1	0,2	0,01
1999	0,3	0,1	0,3	0,05
2000	0,4	0,2	0,4	0,1
2001	0,5	0,3	0,7	0,1
2002	0,6	0,3	0,9	0,2

Quelle: Laufende Emissionsraten (2,5%/2%) bezogen auf die Werte der Tab. 4.

Kommentar

Die laufenden Emissionen aus dem Bestand betrugen in 2002 zusammen 2,0 t. Sie stiegen parallel zum stetigen Wachstum des mittleren Bestandes bei 134a und 404A gleichmäßig an, während bei 407C und 410A eine sprunghafte Entwicklung festzustellen ist. Das Gesamtniveau der Emissionen ist, verglichen mit anderen Kältemittelanwendungen, niedrig. Sollte der Bestand bis 2020 tatsächlich auf 420 t wachsen, beliefen sich dann die Emissionen auf 10 t/a.

7. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Die statistischen Ausgangsdaten des BWP sind wie alle derartigen Absatzmeldungen als solide zu bewerten. Die von ÖR vorgenommene Hochrechnung von 90% auf 100% kann die wirklichen Zahlen nur minimal verfehlen. Die für das Kältemodell eingeholten Angaben über Füllmengen und Kältemitteltypen nach Wärmepumpen-Systemen sind angesichts der Vielfalt in der Branche mit Unsicherheiten im Bereich von $\pm 10\%$ zu versehen. Die Übergangsphase von chlorhaltigen Kältemitteln zu chlorfreien sowie die wechselnde Rolle von Propan sind durch Befragung der Experten recht gut dokumentiert. Fehler sind auch hier maximal im Bereich von $\pm 10\%$ der Angaben anzusiedeln.

Emissionsraten. Die in 2003 bestätigte ER von 2,5% für Heizwärmepumpen kann als sehr sicher gelten. Die Methode ihrer Ermittlung ist qualitativ hochwertig, da sie über Schätzungen hinausgehend auf Feldbeobachtungsdaten (Zeitraum 5 Jahre) gründet. Außerdem folgt sie dem Unterschied zwischen regulären und irregulären Kältemittelverlusten, was in der Literatur erst in jüngerer Zeit geschieht. Der Abschlag von 0,5% für Warmwasser-Wärmepumpen scheint gerechtfertigt.

8. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Das IPCC-Manual GPG nennt für Wärmepumpen bei "stationary refrigeration" (3.7.4) best estimates für die laufenden Emissionen, und zwar "zwischen 1 und 5 Prozent" (Table 3.22, A/C including Heat Pumps). Der länderspezifische Wert von ÖR liegt mit 2,5% etwa in der Mitte jener Expertenschätzungen.

9. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, worin die Daten zu "Average annual stocks" und "Emissions from stocks" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1. Bisher werden 134a in Reihe 71, 407C in Reihen 72-75, 404A in Reihen 76-79 und 410A in Reihen 80-82 eingetragen, und zwar jeweils in die Spalten C und I.

II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

10. Aktivitätsdaten II

Das CRF verlangt die Abschätzung des Verbrauchs für die Inländische Herstellung (C_{manu}) und der bei der Herstellung entstehenden Verluste von HFKW. Der Verbrauch richtet sich nicht nach den im Inland installierten, sondern produzierten Anlagen, über die allgemein zugängliche statistische Daten nicht publiziert werden.

Die in 2003 befragten Branchenexperten (s. Teil I, 2) wurden auch um Schätzungen gebeten, um wie viel höher als der (veröffentlichte) Inlandsabsatz generell die Anzahl der im Inland hergestellten Wärmepumpen sei. (Deutschland ist Nettoexporteur, Importe spielen eine untergeordnete Rolle). Als Antworten erhielt ÖR für jede der vier Wärmepumpen-Kategorien fast einheitlich den Faktor 1,5. Das bedeutet, dass den Schätzungen gemäß die produzierte Menge von Wärmepumpen in jedem der vier Segmente etwa das 1,5-fache des zahlenmäßigen Inlandsabsatzes beträgt.

Aus der Zeile "Stückzahl gesamt" in Tab. 1 (Teil I) kann so eine grobe Schätzung der jährlich produzierten Anlagen abgeleitet werden, wobei darauf zu achten ist, dass die mit Propan oder R-22 betriebenen Anlagen herausgerechnet werden. Das Resultat findet sich in Tab. 6, Zeile 1.

11. Rate der Fertigungsemissionen

Die befragten Experten (siehe Teil I, 2) nennen entweder 1 oder 2 Gramm als Befüllverlust pro Wärmepumpe gleich welchen Typs und welcher Füllmenge. Bei automatischer Befüllung entweicht nicht der ganze Inhalt des Füllschlauchs, da sich das Absperrventil selbst schließt, sondern nur eine Teilmenge am Schlauchende innerhalb der Kupplung. ÖR nimmt 2 Gramm/Anlage an, zumal es außer unmittelbaren Schlauchverlusten auch weitere Verlustquellen im Werk gibt (Vorratstanks, Zwischenbehälter, Umfüllen usw.).

12. Die Fertigungsemissionen in kg

In Tab. 6 sind außer der jährlich im Inland produzierten Stückzahl HFKW-haltiger Wärmepumpen der spezifische Verlust pro Anlage in g (generell 2 g) sowie in der unteren Zeile die Befüllemmission in kg/a eingetragen. Sie bewegen sich vom Minimum 12,4 kg bis auf ein Maximum von 38,9 kg.

Tab. 6: Inlandsproduktion von Wärmepumpen und Befüllverluste pro Anlage und gesamt in kg								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Wärmepumpen Stück	6.175	6.725	8.383	10.922	12.508	15.079	19.428	18.878
Verlust pro Anlage in g	2	2	2	2	2	2	2	2
Befüllemmissionen in kg	12,4	13,5	16,8	21,8	25,0	30,2	38,9	37,8

13. Fertigungsemissionen nach Kältemitteln und in Bezug zum HFKW-Verbrauch für die inländische Produktion von Wärmepumpen

Das CRF verlangt auch die Aufgliederung der Emissionen nach Kältemitteltypen und einen Bezug auf die für die inl. Herstellung verbrauchten Kältemittelmengen (Tab. 7).

Zunächst werden die produzierten Anlagen mit Hilfe der Tab. 2 aus Teil I nach Kältemitteln und Jahr aufgelistet. Dabei fallen die R-290 sowie R-22-Systeme heraus. Der Befüllverlust ergibt sich dann durch Multiplikation aller HFKW-Anlagen mit 2 g. Er ist in Tab. 7 jeweils kältemittelspezifisch in der rechten Spalte (Verl. g) eingetragen.

Die linken Spalten der Tab. 7 enthalten unter " C_{manu} " den jeweiligen Neuverbrauch nach Kältemittel, der sich aus der Gleichung " In_{bank} (lt. Tab. 3) mal 1,5" ergibt. Dabei ist 1,5 der Faktor für die Relation der im Inland produzierten zu den im Inland abgesetzten Wärmepumpen (Teil II, Abschn. 10), den ÖR bei Experten erfragt hat.

Tab. 7: HFKW-Neuverbrauch für die Herstellung (C_{manu}) von Wärmepumpen in kg und Befüllverluste (Verl.) in g 1995-2002								
	1. HFKW-134a		2. HFKW-404A		3. HFKW-407C		4. HFKW-410A	
	C_{manu}	Verl. g	C_{manu}	Verl. g	C_{manu}	Verl. g	C_{manu}	Verl. g
1995	4.003	6.412	1.469	722	2.008	550	-	-
1996	4.284	6.866	1.527	752	2.378	674	-	-
1997	5.124	8.098	2.116	1.058	3.488	1011	-	-
1998	5.522	8.636	2.142	1.104	5.676	1792	1.767	1.240
1999	5.958	9.328	2.482	1.264	7.479	2385	1.874	1.316
2000	6.484	10.082	3.134	1.586	10.644	3428	2.253	1.582
2001	7.053	10.740	4.802	2.406	16.390	5268	3.160	2.218
2002	6.520	9.926	4.735	2.382	16.581	5347	3.231	2.268

Zur Beachtung: Die Einsatzmengen (C_{manu}) sind Kilogramm, die Befüllverluste Gramm.

14. Impliziter Emissionsfaktor für die Befüllung

Wird rechnerisch der Befüllverlust ($EF_{\text{manu}} = 2 \text{ g/Anlage}$) auf die bei der Produktion eingefüllte HFKW-Menge (C_{manu}) bezogen, ergeben sich implizite Emissionsfaktoren in der Größenordnung von ca. 0,15% bei 134a (kleine Anlagen!) bis 0,05% bei 404A (fast nur größere Anlagen!).

15. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle II

Die Datensicherheit bei den für die Befüllung wichtigen Aktivitätsdaten gründet in hohem Maße auf der Datensicherheit der Aktivitätsdaten, die den laufenden Emissionen zugrunde liegen. Neue Unsicherheit kommt dadurch zustande, dass die Anzahl der produzierten Wärmepumpen nicht allein auf Erhebungen oder Meldungen beruht, sondern über den Schätzfaktor 1,5 auch von Expertenurteilen abhängig ist.

Der Emissionsfaktor (EF_{manu}) 2 g/Anlage ist dagegen ein recht zuverlässiger Wert, der auch von der Pkw-Klimaanlagen-Befüllung berichtet wird. Es sei betont, dass die Emissionen nicht als abhängige Variable der Einsatzmenge für die Herstellung ermittelt werden, sondern als feste Größen.

16. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Zu den Befüllemmissionen gibt es "best estimates" in Table 3.22 (IPCC GPG) für "initial emission" in % der Erstfüllung. Die Größenordnung beträgt 0,2 bis 1 Prozent. Die länderspezifischen Daten von ÖR liegen mit 0,15 bis 0,05% unterhalb jener best estimates, die auf den Experten Denis Clodic zurückgehen.

Im Übrigen kommt der Wert von ÖR nicht als Prozentsatz der Füllmenge, sondern als fester Verlust von 2 Gramm pro Anlage zustande. Der Wert wird für realitätsnäher gehalten, da der Befüllverlust keine lineare Funktion der Füllmenge ist.

17. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emission from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1. Bisher wurden 134a in Reihe 71, 407C in Reihen 72-75, 404A in Reihen 76-79 und 410A in Reihen 80-82 eingetragen, und zwar jeweils in die Spalten B und H.

F-Gas-Blatt 4 Haushalts-Kühlgeräte

F-Gas	HFKW 134a
Anwendung	Haushalts-Kühl- und Gefriergeräte
Berichtsjahre	1995 – 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand

Hintergrund

Die im Jahre 1994 von FCKW-12 auf den HFKW-134a eingeleitete Umstellung bei den inländischen Produzenten von Haushalts-Kühl- und Gefriergeräten war nicht von langer Dauer. In der Folge intensiver industrieller Anstrengungen, die durch die Umweltschutzorganisation Greenpeace ausgelöst wurden, wurde bereits 1994 allgemein auf das zur Klimaschädigung nur minimal beitragende Kältemittel R-600a (Isobutan) umgerüstet. Dieses Kältemittel ist seitdem von Seiten der deutschen Hersteller generell eingesetzt worden.

Im europäischen und nordamerikanischen Ausland erfolgte diese zweite Umstellung nicht oder nicht sofort. So ist nach Recherchen von Greenpeace davon auszugehen, dass jährlich mindestens 1 Prozent der in Deutschland verkauften neuen Haushalts-Kühl- und Gefriergeräte (Jahresabsatz im Durchschnitt 4 Mio. Stück) mit 134a aus ausländischer Befüllung ausgestattet ist.

Dies ist bei sehr einfachen Modellen der Fall (nur mit Sternefach) sowie bei größeren Geräten (Kühl-Gefrier-Kombination mit 2 Außentüren).

Bei einer mittleren Geräte-Füllung von 0,1 kg ist die jährlich importierte HFKW-Menge in ca. 40.000 Haushalts-Kühl- und Gefriergeräten von geringer Bedeutung.

Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

1 Aktivitätsdaten. Der jährliche HFKW-Neuzugang ins Inland

Da die Befüllung mit HFKW-134a seit 1995 nur noch im Ausland erfolgt, sind weder Neuverbrauch fürs Inland (C_{manu}) noch inl. Befüllverluste (Em_{manu}) zu berechnen. HFKW-haltige Geräte stellen seit 1995 HFKW-Neuzugang zum inländischen Bestand (In_{bank}) dar, den sie um ihren eigenen Betrag erhöhen, solange nicht beträchtliche Mengen zur Entsorgung anstehen. Dies ist nicht vor 2005 zu erwarten.

Tab. 1 enthält nicht nur auf der linken Seite den jährlichen Neuzugang seit 1993 (vor 1995 überwiegend noch aus dem Inland), sondern auf der rechten Seite auch den mittleren Jahresbestand, der aufgrund der konstanten Zahlen recht einfach zu ermitteln ist. Der mittlere Jahres-Bestand (B_n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres (EB_{n-1}) und des laufenden Jahres (EB_n). Gleichung:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2} \quad \text{wobei} \quad EB_n = EB_{n-1} + In_{\text{bank } n}$
--

Tab. 1: HFKW-134a-Zugang und mittlerer HFKW-134a-Bestand in Haushalt-Kühlgeräten 1993-2002		
	Jährl. Zugang in t/a	Mittl. Bestand in t
1993	2	1
1994	400	202
1995	4	404
1996	4	408
1997	4	412
1998	4	416
1999	4	420
2000	4	424
2001	4	428
2002	4	432

2. Ermittlung und Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Dass jährlich ca. 40.000 Haushalts-Kühl- und Gefriergeräte importiert werden, geht auf Information von Greenpeace Deutschland ("Greenfreeze-Gruppe") zurück, die periodisch Überprüfungen in großen Elektrohändeshäusern durchgeführt hat und außerdem Gespräche mit den vier großen deutschen Herstellern (Bosch-Siemens-Hausgeräte, Liebherr, AEG, Foron) führte. Die Schätzung von 1% des Inlandsmarkts mit HFKW-134a-Geräten wurde noch Anfang 2004 vom Hersteller Liebherr bestätigt.

Greenpeace Deutschland, Hamburg, lfd.

Liebherr Machines Bulle S.A, Bulle (Schweiz), 05.03.04.

ILK Dresden/FKW Hannover, Aktuelle TEWI-Betrachtung von Kälteanlagen mit HFKW- und PFKW-Kältemitteln unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Rahmenbedingungen für verschiedene Anwendungsgebiete, im Auftrag des Forschungsrats Kältetechnik e.V., FKT 96/03, Frankfurt, November 2003.

3. Rate der laufenden Emissionen vom Bestand

Die laufenden HFKW-Emissionen aus Haushalts-Kühl- und Gefriergeräten werden auf 0,3% jährlich geschätzt.

4. Informationsquellen zur Emissionsrate

Publikationen zu Emissionen von Haushaltskühlgeräten stammen von Mitte der 90er Jahre. 1993 schätzte sie Lotz, der selber bei einem Kühlgerätehersteller tätig war, optimistisch auf 0,15% (für R12 und R134a). Er bezifferte im Übrigen die Lebensdauer auf 20 Jahre. Vom FKW-Hannover wurde 1995 eine Emissionsrate von 0,36% (20 t von 5500 t) für R-12-Geräte angenommen. Es kann angenommen werden, dass die Emissionen bei 134a etwas niedriger liegen. ÖR hat daher mit 0,3% gerechnet. Die recht hohen Verschrottungsemissionen sind nicht darin eingeschlossen.

Hans Lotz, Beitrag der deutschen Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik zur Verringerung der Treibhausbelastung bis zum Jahre 2005, DKV-Statusbericht Nr. 13, Stuttgart, April 1993. FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Ersatz von R 12 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Statusbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Hannover, November 1995. S. 96.

5. Laufende HFKW-Emissionen vom Bestand

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER_{op}) an den durch Aufsummierung der jährlichen Neuzugänge entstandenen mittleren Bestand (B_n) jenes Jahres (vgl. Abschnitt 1):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei einer ER von 0,3% für Haushalt-Kühlgeräte ergibt sich als Gleichung für die lfd. Emissionen:

ER_{op} (0,3 %)	x	B_n
-------------------	---	-------

In Tab. 2 werden die jährlichen HFKW-Emissionen aus dem mittleren Bestand nach Kältemitteln in t/a dargestellt.

Tab. 2: Laufende HFKW-134a-Emissionen aus dem Bestand in Haushalts-Kühl- und Gefriergeräten seit 1995 in t/a								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Emissionen in t/a	1,21	1,22	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,30

Quelle: Laufende Emissionsrate (0,3%) bezogen auf die Bestandswerte der Tab. 1.

Kommentar

Die lfd. Emissionen aus HH-Kühlgeräten sind insgesamt recht gering. Sie stammen noch dazu zu über 90% aus vor 1995 aufgebauten Kältemittelbeständen.

6. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Die Schätzungen von ca. 40.000 importierten HH-Kühlgeräten mit HFKW-134a sind als solide zu betrachten, zumal sie aus mehreren Quellen stammen. Die in der im November 2003 vorgelegten TEWI-Studie des ILK-Dresden und FKW-Hannover (siehe Informationen zu Aktivitätsdaten) behauptet zwar: "der Anteil des Kältemittels Isobutan von den in Deutschland in den Markt gebrachten Haushaltskühl- und -gefriergeräten beträgt 80%, so dass 20% dem Kältemittel R134a verbleiben" (S. 12). Hier muss jedoch eine unterschiedliche Klassifizierung zu Grunde liegen. Anzunehmen ist, dass die Autoren unter Haushaltsgeräten auch größere Gewerbekühlschränke, gewerbliche Gefriergeräte und Verkaufsautomaten mit einbezogen haben, die von ÖR der Gewerbekälte zugeordnet sind.

Emissionsraten. Messergebnisse liegen zu Haushaltskühlgeräten nicht vor. Der Wert von 0,3% ist mit $\pm 0,1\%$ Abweichung gewiss realitätsgerecht.

7. Verhältnis zur IPCC-Methode

Das IPCC-Manual GPG nennt in Table 3.22 für "domestic refrigeration" best estimates für die laufenden Emissionen, und zwar zwischen 0,1 und 0,5%. Die hier verwendete Schätzung 0,3% liegt in diesem Rahmen.

8. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, worin die Daten zu "Average annual stocks" und "Emissions from stocks" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1. Domestic Refrigeration wird in Reihe 12 eingetragen, und zwar in die Spalten C und I.

F-Gas-Blatt 5 Stationäre Klimaanlage

F-Gase	HFKW 134a, HFKW 407C
Anwendung	Stationäre Klimaanlage
Berichtsjahre	1995 – 2002
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand

Hintergrund

Stationäre Klimaanlage sollen in Gebäuden jederzeit behagliche Temperaturen garantieren. Für Einzelräume oder auch einzelne Stockwerke mögen dafür Raumklimageräte mit direkt verdampfendem Kältemittel genügen. Zur Klimatisierung ganzer Gebäude (etwa Warenhäuser, Industriehallen, Hotels) oder großer Säle (Kinos, Rechenzentren, Sporthallen usw.) werden jedoch meist zentral aufgestellte Systeme verwendet, die vorwiegend indirekt wirken: Der Kältekreislauf kühlt Kaltwasser, das als Kühlmittel durch Leitungen im Gebäude umläuft, auf 5 bis 6°C.

Die stationären Klimaanlage werden nach drei Verdichterbauarten unterschieden, die jeweils für bestimmte Kälteleistungsklassen typisch sind. Im obersten Leistungsbereich von 700 kW bis 3 MW dominieren Turboverdichteranlagen. Für mittelgroße Leistungen von 200 bis 1000 kW werden vorwiegend Systeme mit Schraubenkompressoren eingesetzt. Zwischen 20 bis 200 kW herrschen Systeme mit Kolben- und zunehmend Scrollverdichtern (Spiralverdichtern) vor. Darunter liegt der Einsatzbereich der so genannten Raumklimageräte (siehe eigenes Blatt).

In der großen Mehrzahl wirken die Anlagen als Flüssigkeitskühler bzw. Kaltwassersätze. Direkt verdampfende Systeme sind jedoch ebenfalls weit verbreitet, besonders im Leistungsbereich unterhalb 200 kW, wo sie bis zu 30% ausmachen.

Der wichtigste HFKW für stationäre Klimaanlage ist heute die Mischung R-407C. In Turboanlagen, wo aus technisch-physikalischen Gründen nur Einstoff-Kältemittel verwendet werden können, kommt allerdings ausschließlich R-134a zum Einsatz.

I. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

1 Aktivitätsdaten I. Der jährliche HFKW-Verbrauch im Inland

Stationäre Klimaanlage im Leistungsbereich oberhalb von Raumklimageräten, d.h. oberhalb 20 kW, werden grundsätzlich vor Ort zusammengebaut. Zwar werden auch und gerade sehr große Anlagen, vor allem Turboverdichter, außerhalb Deutschlands in Großserie für den Weltmarkt gefertigt. Doch handelt es sich dabei eher um eine sehr weit gehende Vorfertigung. Diese verkürzt die Endmontage samt Anschluss an das Leitungssystem des Kaltwasserumlaufs, aber ersetzt sie nicht. Grundsätzlich wird das Kältemittel vor Ort eingefüllt. Daraus ergibt sich, dass kein Außenhandel mit HFKW-haltigen Anlagen berücksichtigt werden muss. Der HFKW-Neuverbrauch im Inland (C_{manu}) ist somit grundsätzlich identisch mit dem HFKW-Zugang zum inländischen Bestand (ln_{bank}). Letzterer ist lediglich um die – bei Kälteanlagen im Allgemeinen geringen – Fertigungsemissionen (Em_{manu}) niedriger.

1.a Die jährlichen Neuinstallationen stationärer HFKW-Klimaanlagen

Durch Expertenbefragung wurde die Anzahl der seit 1993 jährlich neu installierten stationären HFKW-Klimaanlagen (ohne Raumklimageräte) ermittelt. Sie wurden nach drei Verdichterbauarten unterschieden: Turboverdichteranlagen (700-3000 kW), Anlagen mit Schraubenkompressoren (200 - 1000 kW) und solche mit Kolben- bzw. Scrollverdichtern (20 - 200 kW). Die Stückzahlen sind in Tab. 1 wiedergegeben.

Tab. 1: Stückzahl neuinstallierter stationärer HFKW-Klimaanlagen ab 20 kW Kälteleistung - nach Verdichtertyp 1993-2002										
Verdichterbauart	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Turbo	10	50	100	100	100	100	100	100	100	100
2. Schraube	83	166	248	330	423	550	688	825	865	865
3. Scroll/Kolben	n.v.	n.v.	420	420	430	1.540	2.660	4.200	4.325	4.433
Gesamt	93	216	768	850	953	2.190	3.448	5.125	5.290	5.398

Quellen: Branchenexperten. Erläuterung der Kälteleistungsbereiche: Turboanlagen >700 kW; Schraubenverdichteranlagen 200-1000 kW; Scroll- und Kolbenverdichteranlagen 20-200 kW. Die niedrigen Werte bis 1997 und die Angaben "n.v." erklären sich aus der Nutzung von Nicht-HFKW-Kältemitteln, vor allem von HFCKW 22 und -123.

1.b Das Kältemittel-Modell für stationäre Klimaanlage

Zur Bestimmung des Kältemittel-Verbrauchs im Inland seit 1993 wird ein mit Hilfe von Branchenexperten entwickeltes Modell (Tab. 2) benutzt, das für die drei Kategorien von Klimaanlage sowohl die mittleren Füllmengen als auch die verwendeten Kältemittel-Typen nach prozentualen Anteilen enthält.

Tab. 2: Typische HFKW-Kältemittel bei stationären Klimaanlage nach mittlerer Füllmenge, Anteilen und Jahr (1993-2002)					
System	1. Turboverdichter	2. Schraubenverdichter		3. Scroll- Kolbenverdichter	
Füllung	500 kg [1000 kW]	160 kg [400 kW]		27 kg [120 kW]	
Kältem.	R-134a	R-134a	R-407C	R-134a	R-407C
1993	100%	100%	-	-	-
1994	100%	100%	-	-	-
1995	100%	100%	-	100%	-
1996	100%	100%	-	100%	-
1997	100%	97,64%	2,36%	97,67%	2,33%
1998	100%	72,73%	27,27%	27,27%	72,73%
1999	100%	50,00%	50,00%	15,79%	84,21%
2000	100%	50,00%	50,00%	10,00%	90,00%
2001	100%	33,33%	66,67%	10,00%	90,00%
2002	100%	33,33%	66,67%	10,00%	90,00%

Quellen: s. Abschnitt zur Datenermittlung. Erläuterung: Die Prozentsätze beziehen sich nur auf die effektiv verwendeten HFKW, nicht auf alle halogenierten Kältemittel. Noch bis 1999 wurden HFCKW (22, 123) in Neuanlagen gefüllt, vor allem in Kolben- und Scroll-Systeme.

1.c Der jährliche HFKW-Verbrauch für neue stationäre Klimaanlage

Der jährliche Neuverbrauch (C_{manu}) eines bestimmten Kältemittels im Jahr n ergibt sich in zwei Schritten. Durch Multiplikation der Stückzahl eines bestimmten Klimaanlage-Systems (Tab. 1) mit der zugehörigen Füllmenge in kg – nach Tab. 2, Zeile "Füllung". Und weiter durch Multiplikation dieses Produkts mit dem prozentualen Anteil des Kältemittels für das entsprechende System im fraglichen Jahr n – ebenfalls nach Tab. 2. Daraus leitet sich der HFKW-Verbrauch lt. Tab. 3 ab.

Tab. 3: HFKW-Verbrauch für neue stationäre Klimaanlage 1993-2002 in t/a		
	HFKW-134a	HFKW-407C
1993	18,3	-
1994	51,6	-
1995	101,0	-
1996	114,1	-
1997	127,4	1,9
1998	125,3	54,2
1999	116,4	115,5
2000	127,3	168,1
2001	107,8	197,4
2002	108,1	200,0

Quellen: Stückzahlen lt. Tab. 1. Anteile der Kältemitteltypen und Füllmengen lt. Tab. 2. Leere Zellen (-) bedeuten, dass das Kältemittel (407C) noch nicht eingesetzt wurde.

1.d Neuverbrauch von HFKW-134a für Altanlagen im Inland 1995-1998

Zwischen 1995 und 1998 wurde gemäß FCKW-Halon-Verbots-Verordnung in einer beachtlichen Zahl von Turboanlagen (etwa 700) der FCKW-12 auf den HFKW-134a umgerüstet. Auch Turboanlagen mit FCKW-11 (sie wurden bei Niederdruck unterhalb des atmosphärischen Drucks betrieben) wurden umgestellt, allerdings überwiegend auf den HFCKW-123. (Die anderen stationären Klimaanlage - Schrauben-, Scroll- und Kolbenverdichter - enthielten kaum vollhalogenierte FCKW.) Der FCKW-Ersatz ist in

den Abschätzungen der Tab. 3, die nur Neuanlagen berücksichtigt, noch nicht enthalten. Gemäß einer Studie des Umweltbundesamtes (Öko-Recherche 1998) wurden in den vier Jahren etwa 350 t HFKW-134a zusätzlich für Altanlagen verbraucht.

Tabelle 4 enthält die Stückzahl der damals umgerüsteten Turboanlagen sowie die Menge an HFKW-134a, die in solche Altanlagen gefüllt wurden.

Tab. 4. HFKW-134a-Verbrauch für umgerüstete Turbo-Altanlagen 1995/98 in t/a			
	Umrüstungen Stück	134a pro Anlage in t	Zugang 134a in t/a
1995	100	0,5	50
1996	200	0,5	100
1997	200	0,5	100
1998	200	0,5	100

Quelle: Öko-Recherche 1998.

Aus dem HFKW-Verbrauch für die seit 1993 neuinstallierten Klimaanlage (Tab. 3) sowie dem HFKW-Verbrauch für den FCKW-Ersatz in Altanlagen (Tab. 4) ergibt sich schließlich der gesamte HFKW-Verbrauch für stationäre Klimaanlage 1993-2002.

1.e Der gesamte HFKW-Verbrauch für alte und neue stationäre Klimaanlage

Tab. 5: Gesamter HFKW-Neuverbrauch für alte und neue stationäre Klimaanlage 1993-2002 in t/a		
	HFKW-134a	HFKW-407C
1993	18,3	-
1994	51,6	-
1995	151,0	-
1996	214,1	-
1997	227,4	1,9
1998	225,3	54,2
1999	116,4	115,5
2000	127,3	168,1
2001	107,8	197,4
2002	108,1	200,0

Quellen: Tab. 3 und Tab. 4. Veränderungen gegenüber Tab. 3 sind fett gedruckt.

Tabelle 5 unterscheidet sich von Tabelle 3 in den Zeilen für die Jahre 1995 bis 1998, und zwar nur in der Spalte "HFKW-134a". Hier ist der Verbrauch für die Umrüstung von FCKW-12-Anlagen mit berücksichtigt.

Kommentar

Seit 1992, dem ersten Jahr des FCKW-Verbots für neue stationäre Anlagen mit über 5 kg Kältemittel, sind HFKW zwar im Einsatz. Der Anstieg von HFKW-Neuanlagen kam allerdings nur langsam in Fahrt; erst ab 2000 wurden jährlich konstant über 5.000 Stück neu montiert. Hauptgrund ist die lange Verwendung des HFCKW-22 in Scroll- und Kolbenverdichter-, aber auch in Schrauben-Anlagen. Erst der Einsatz von R-407C sorgte hier für einen Aufschwung zugunsten der HFKW.

Vom frühen FCKW-Verbot waren in erster Linie Turboanlagen betroffen, die bis dato FCKW-11 und -12 eingesetzt hatten. Von 1992 bis 1995, als vom Umweltbundesamt

Ersatzkältemittel für FCKW-12 bekannt gegeben wurden, fehlte den Herstellern eine klare Orientierung. Viele Neubauten wurden mit HFCKW-123 oder als Adsorptions- und Ammoniakanlagen realisiert, bevor sich der HFKW-134a durchgesetzt hatte.

2. Emissionen bei der Befüllung stationärer Klimaanlage

Die Befüllemissionen sind bei kältetechnischen Anlagen im Allgemeinen zwar sehr gering. Das CRF verlangt allerdings ihre Ermittlung ab 1995.

2.1 Emissionsfaktor der Befüllung

Über alle Anlagengrößen betrachtet entsteht ein durchschnittlicher Kältemittelverlust von ca. 20 g pro Befüllvorgang, d.h. pro befüllter Anlage ($EF_{\text{manu}} = 20 \text{ g/Anlage}$). Die Füllmengen der Anlagen sind mit 20 bis über 1000 kg recht groß, so dass meist mehrere Kältemittelbehälter zur Füllung benötigt werden und daher kleine Verluste aus der Zufuhrleitung und Füllventilen mehrmals vorkommen und sich addieren.

2.2 Stückzahl jährlich befüllter Anlagen nach HFKW-Kältemitteln

In Tabelle 1 ist die Stückzahl der jährlichen Neuinstallationen noch nicht nach Kältemitteln untergliedert. Dies wird in Tab. 6 nachgeholt. Die Zahl der Umrüstungen auf 134a aus Tab. 4 wird mit eingefügt.

Tab. 6: Zahl der jährlich mit HFKW erstbefüllten stationären Klimaanlage 1995-2002 – nach Kältemitteln				
Jahr	HFKW-134a			HFKW-407C
	Neuanlagen	Umrüstungen	Alle Anlagen	Neuanlagen
1995	768	100	868	
1996	850	200	1.050	
1997	933	200	1.133	20
1998	920	200	1.120	1.270
1999	864		864	2.584
2000	933		933	4.193
2001	821		821	4.469
2002	832		832	4.566

In der Tabelle 7 wird der Emissionsfaktor (EF_{manu}) von 20 g pro Anlage mit den Stückzahlen multipliziert, getrennt für 134a und 407C-Anlagen. Die beiden Spalten rechts außen enthalten die Befüllemmissionen von 134a und 407C in kg pro Jahr.

Tab. 7: Befüllverlust pro Anlage, befüllte Anlagen und Befüllemissionen nach Kältemittel 134a und 407C von 1995 bis 2002					
Jahr	Verlust in g pro Anlage	Anlagen 134a Stückzahl	Anlagen 407C Stückzahl	Emission 134a in kg	Emission 407C in kg
1995	20	868	n.v.	17,4	n.v.
1996	20	1.050	n.v.	21,0	n.v.
1997	20	1.133	20	22,7	0,4
1998	20	1.120	1.270	22,4	25,4
1999	20	864	2.584	17,3	51,7
2000	20	933	4.193	18,7	83,9
2001	20	821	4.469	16,4	89,4
2002	20	832	4.566	16,6	91,3

Quellen: Anlagen-Stückzahlen aus Tab. 6.

Kommentar

Wie erwartet, sind die absoluten Befüllemmissionen mit 16,6 bzw. 91 kg (im Jahr 2002) nicht hoch. Gemessen an den im gleichen Jahr verbrauchten Mengen von 134a im Umfang von 108,1 Tonnen (Tab. 3 u. 5) sind es 0,015 %, im Falle von 407C (200 Tonnen in jeweils kleineren Anlagen) machen die 91 kg relativ mehr aus: 0,045 %.

3. Ermittlung und Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Mangels öffentlich zugänglicher Statistiken über den jährlichen HFKW-Verbrauch für stationäre Klimaanlage verschiedener Bauart sind alle Daten zu dieser Anwendung auf Expertenauskünfte angewiesen. Seit 1998 wurden die weltweiten Marktführer ebenso befragt wie regional tätige Klimafachbetriebe. Von großer Bedeutung war das Fachwissen, das beim Kältemittelhersteller Solvay vorhanden ist. Aus den – nachstehend aufgelisteten – Quellen stammen alle für die Aktivitätsdaten wichtigen Einzelangaben wie Startjahr von HFKW-Anlagen, Relationen der Kältemittel untereinander, Umrüstung FCKW-haltiger Altanlagen, jährliche Neuinstallationen nach Verdichterbauart und Kälteleistung, die für die drei Anlagenkategorien repräsentativen Kälteleistungen, Füllmengen und normale Lebensdauern.

Informationsquellen

Carrier LTG Service GmbH, Unterschleißheim, 18.05.98, 17.07.98, 17.07.98.

Trane Deutschland GmbH, Duisburg, 22.07.98, 12.03.98, 15.07.98, 16.10.02.

LTB Schiewer, Oberursel, 29.05.98, 17.03.99.

WRK Schenk, Barsinghausen, 05.06.98, 17.03.99.

Öko-Recherche, Keine Entwarnung für Ozonschicht und Erdklima. Verbrauchsprognose 1995 für FCKW, H-FCKW und FKW (Greenpeace-Studie), Hamburg 1995, S. 26.

Öko-Recherche: R-12-Ersatz bei Altanlagen von 1996 bis Mitte 1998. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, August 1998.

<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/vollR12.pdf>.

FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Ersatz der FCKW R11, R13, R503, R13B1, R113, R114 und R12B1 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, Statusbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Hannover, Mai 1998. S. 33 ff.

Universität Essen, 16.10.02.

Daikin Airconditioning Germany GmbH, Unterhaching, 16.10.03.

Solvay Fluor & Derivate GmbH, Hannover: HFC chillers sold to the German market and key figures for the estimation of their lifetime, average capacities in kW and charge in kg/kW. Intern. Aufstellung, 27.03.03.

Öko-Recherche/Solvay Fluor: Fachgespräch über Basisdaten und Verkaufsmengen für HFKW in stationären kälte- und klimatechnischen Anwendungen, Teilnehmer: Winfried Schwarz (ÖR), Christoph Meurer (Solvay) und Felix Flohr (Solvay), Hannover 26.03.03.

4. Ermittlung und Informationsquelle für den Befüll-Emissionsfaktor

Der Emissionsfaktor EF_{manu} der Anlagenbefüllung (20 g/Anlage) gründet auf der Einschätzung von Öko-Recherche.

5. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Die verschiedenen Einzelangaben, aus denen der jährliche Verbrauch von HFKW-Kältemitteln abgeschätzt wird, stammen von durchweg für ihren Bereich jeweils kompetenten Experten. Da aber Daten für den Gesamtmarkt benötigt wurden, weichen die Angaben über die Zahl der jährlich insgesamt neu installierten Klimaanlage und über mittlere Füllmengen und Kälteleistungen durchaus voneinander ab, da jedes Unternehmen besondere Schwerpunkte hat, die sein Bild vom Gesamtmarkt mit beeinflussen. Die Angaben über die HFKW-Mengen in jährlichen Neuinstallationen können im Segment der Turbo- und Schraubenverdichter-Anlagen um bis zu 20% nach oben oder unten in einem bestimmten Jahr abweichen. Bei kleineren Anlagen ist die Exaktheit höher (geschätzter Fehlerspielraum $\pm 10\%$), da deren wichtigste Anbieter alljährlich ihre Absatzzahlen untereinander austauschen.

Emissionsfaktor. Der Emissionsfaktor (EF_{manu}) 20 g/Anlage, der von Öko-Recherche geschätzt wurde, beruht auf Plausibilität. Angenommen wird, dass im Durchschnitt 4 Kältemittelbehälter pro Anlagenbefüllung benötigt werden, und dass aus jedem eine Schlauchfüllung von 5 g verloren geht. Diese 5 g sind ein bei der Befüllung von vor Ort montierten stationären Kälteanlagen gängiger Standardwert.

6. Verhältnis zur IPCC-Methode I

In Table 3.22 (IPCC GPG) werden "best estimates for charge, lifetime and emission factors" präsentiert, und zwar auch für "Chillers", also Flüssigkeitskühler. Die Füllmengen reichen dort von 10 bis 2000 kg, was sich mit den drei repräsentativen Werten von ÖR (Tab. 2) durchaus verträgt, nämlich 500 kg, 160 kg und 27 kg.

Die Lebensdauer von "Chillers" beträgt bei IPCC-GPG 10 bis 30 Jahre. Die von ÖR verwendeten Werte passen in diesen Rahmen: 12 Jahre für Anlagen mit Kolben- und Scrollverdichtern, 20 Jahre für Anlagen mit Schraubenverdichtern und 25 Jahre für Turboverdichteranlagen.

IPCC-GPG gibt für "initial emission" 0,2 bis 1 Prozent der Erstfüllung an. Die länderspezifischen Daten von ÖR liegen mit 0,015 bis 0,045% bei nur einem Zehntel jener "estimates".

Im Übrigen kommt der Emissionswert von ÖR nicht als Prozentsatz der Füllmenge, sondern als fester Verlust von 20 Gramm pro Anlage zustande.

7. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emission from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1. Die Daten für 134a werden in Zeile 59, die von 407C in die Zeilen 60-63 eingetragen, und zwar jeweils in die Spalten B und H.

II. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

Wie einleitend zu Teil I bemerkt wurde, ist aufgrund fehlenden Außenhandels mit HFKW-haltigen stationären Klimaanlageanlagen der jährliche Zugang zum inländischen HFKW-Bestand (In_{bank}) grundsätzlich so groß wie der in Teil I betrachtete HFKW-Neuverbrauch im Inland (C_{manu}). Der für die Ermittlung des Bestands erforderliche jährliche Zugang kann daher aus Teil I (Tab. 5) übernommen werden. S. Tab. 8.

Tab. 8: Gesamter HFKW-Zugang für umgerüstete und neue stationäre Klimaanlageanlagen 1993-2002 in t/a		
	HFKW-134a	HFKW-407C
1993	18,3	-
1994	51,6	-
1995	151,0	-
1996	214,1	-
1997	227,4	1,9
1998	225,3	54,2
1999	116,4	115,5
2000	127,3	168,1
2001	107,8	197,4
2002	108,1	200,0

Quellen: Tab. 5 zum Neuverbrauch, der mit dem Neuzugang größengleich ist.

8. Der HFKW-Bestand in stationären Klimaanlageanlagen

Der HFKW-Endbestand eines Jahres (EB_n) in stationären Klimaanlageanlagen im Inland erhöht sich seit dem Startjahr 1993 jährlich um den inländischen Zugang (In_{bank}), solange keine Abgänge vorkommen. Abgänge sind bei der Lebensdauer von mindestens 12 Jahren bei Anlagen mit Kolben- und Scrollverdichtern erst ab 2007 systematisch zu erwarten. (Die seit 1995 umgerüsteten Turboanlagen dürften ebenfalls erst dann ausgemustert werden, ev. auch ein oder zwei Jahre vorher.)

Der mittlere Jahres-Bestand (B_n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres (EB_{n-1}) und des laufenden Jahres (EB_n). Als Gleichung:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2}$	wobei	$EB_n = EB_{n-1} + In_{bank\ n}$
-----------------------------------	-------	----------------------------------

Der mittlere Jahresbestand (B_n) weist damit folgende Zeitreihe auf.

Tab. 9: Mittlerer jährlicher HFKW-Bestand (B_n) in stationären Klimaanlageanlagen (einschl. umgerüsteter) seit 1995 in t/a		
	HFKW-134a	HFKW-407C
1995	145,4	-
1996	327,9	-
1997	548,7	0,9
1998	775,1	29,0
1999	945,9	113,9
2000	1067,8	255,7
2001	1185,3	438,4
2002	1293,3	637,0

Quelle: Tab. 8 in Verbindung mit der Gleichung in diesem Abschnitt.

Kommentar zur Zeitreihe des Zugangs und des Bestands

Obwohl 407C seit 1997 dynamischer wächst als der HFKW-134a, ist sein Bestand bis 2002 noch nicht halb so hoch. Denn 134a wurde bereits früher, nämlich seit 1993 in Neuanlagen eingesetzt und außerdem von 1995 bis 1998 für den FCKW-Ersatz in großen Turboanlagen verwendet. Beim Zugang wird sich 407C bei den im Jahre 2002 erreichten 200 t einpendeln, aber der Bestand dürfte wegen der langen Lebensdauer der Schraubenverdichteranlagen (20 Jahre) noch lange Zeit höheren Zu- als Abgang aufweisen und somit anwachsen. Eine Sättigung ist bei etwa 3.000 t denkbar. Bei 134a ist wegen seines Haupteinsatzgebiets, den sehr langlebigen Turboverdichteranlagen, eine ähnliche Tendenz für den Bestand zu erwarten. Seine Sättigung ist erst kurz vor 2020 zu erwarten, bei etwa 2.400 t. Dann wird der Abgang erst so hoch sein wie der Zugang von etwa 110 t, die schon in 2002 erreicht wurden.

9. Rate der laufenden Emissionen vom Bestand

Die laufenden HFKW-Emissionen aus stationären Klimaanlage werden für alle Kälteleistungsklassen bzw. Verdichterbauarten, für alle Altersstufen und für alle Kältemittel-Typen gleich, nämlich auf 6% geschätzt.

10. Ermittlung der laufenden Emissionsraten

Zum FCKW R11 aus Turboanlagen fand das FKW in seinem Statusbericht für das Umweltbundesamt im Jahre 1998 eng beieinander liegende Expertenschätzungen vor: 7,1% (Lotz für 1996) und 7,0% (York für 1996). Diese 7,0%, die auch Öko-Recherche für 1995 übernommen hatte, machte sich auch das FKW zu eigen. Außer diesen Daten gibt es in der Fachliteratur praktisch keine brauchbaren Aussagen zur Emissionsrate stationärer Klimaanlage, ob FCKW (R-12), HFCKW oder HFKW.

Die zu Turboanlagen mit dem HFKW-134a von ÖR befragten Experten behaupteten einheitlich eine deutliche Verbesserung der Dichtheit. Die Emissionsrate betrage heute nicht mehr 7%, sondern deutlich weniger. Der niedrigste genannte Wert war sogar nur 2%. 7% wurden dagegen bei HFKW-Anlagen mit Schrauben- bzw. Kolben- oder Scrollverdichtern als üblich bezeichnet. Emissionen bei Flüssigkeitskühlsätzen wurden mit ca. 5% wiederum niedriger eingeschätzt als bei direkt verdampfenden Verflüssigungssätzen mit weit verzweigten Kältemittelleitungen (ca. 8%).

Werden diese drei Emissionsraten (2-7%, ca. 5% und 8%) mit den Anteilen ihrer Anlagensysteme am gesamten Kältemittelbestand bewertet, ergibt sich eine "gewichtete" Emissionsrate von ca. 6%. Diese Größenordnung wurde auch vom Experten für kältetechnische Anwendung des HFKW-Herstellers Solvay Fluor & Derivate für richtig gehalten. Der Sammelwert 6% war bereits im Jahr 2000 von ÖR in den beiden führenden kälte- und klimatechnischen Fachzeitschriften (Ki und kk) der Öffentlichkeit vorgestellt worden.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Hans Lotz, Beitrag der deutschen Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik zur Verringerung der Treibhausbelastung bis zum Jahre 2005, DKV-Statusbericht Nr. 13, Stuttgart, April 1993.

Öko-Recherche, Keine Entwarnung für Ozonschicht und Erdklima. Verbrauchsprognose 1995 für FCKW, H-FCKW und FKW (Greenpeace-Studie), Hamburg 1995, S. 26.

<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/keine-entwarnung.pdf>.

York International GmbH, Mannheim, 22.11.96.

Carrier LTG Service GmbH, Unterschleißheim, 18.05.98, 17.07.98, 17.07.98.

FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Ersatz der FCKW R11, R13, R503, R13B1, R113, R114 und R12B1 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, Statusbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Hannover, Mai 1998. S. 34.

Winfried Schwarz, HFKW-Emissionen aus Kälte- und stationären Klimaanlageanlagen. Aus einer neuen Studie des Umweltbundesamtes zu Minderungspotentialen fluorierter Treibhausgase in Deutschland, in: DIE KÄLTE & Klimatechnik 4/2000, S. 16.

Winfried Schwarz, HFKW-Emissionen aus Kälte- und Klimaanlageanlagen bis 2010, in: KI Luft- und Kältetechnik 4/2000, 164-170.

Trane Deutschland GmbH, Duisburg, 16.10.02.

Öko-Recherche/Solvay Fluor: Fachgespräch über Basisdaten und Verkaufsmengen für HFKW in stationären kälte- und klimatechnischen Anwendungen, Teilnehmer: Winfried Schwarz (ÖR), Christoph Meurer (Solvay) und Felix Flohr (Solvay), Hannover 26.03.03.

11. Laufende HFKW-Emissionen vom Bestand

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER) an den letztlich durch Addition der jährlichen inl. HFKW-Neuzugänge entstandenen mittleren Bestand B_n jenes Jahres (vgl. Abschnitt 8):

$ER_{op} \text{ (in \%)}$	$\times$	B_n
---------------------------	----------	-------

Bei einer ER von 6% für die HFKW-haltigen neuen und umgerüsteten stationären Klimaanlageanlagen, unabhängig von der Verdichterbauart, ergibt sich als Gleichung für die laufenden Emissionen:

$ER_{op} \text{ (6 \%)}$	$\times$	B_n
--------------------------	----------	-------

Die lfd. jährlichen HFKW-Emissionen aus dem Bestand sind (in t/a):

Tab. 10: Mittlerer Bestand und lfd. Emissionen von 134a und 407C aus stationären Klimaanlageanlagen 1995-2002 in t/a				
	HFKW-134a		HFKW-407C	
	Mittlerer Bestand	Lfd. Emission	Mittlerer Bestand	Lfd. Emission
1995	145,4	8,7	-	-
1996	327,9	19,7	-	-
1997	548,7	32,9	0,9	0,1
1998	775,1	46,5	29,0	1,7
1999	945,9	56,8	113,9	6,8
2000	1067,8	64,1	255,7	15,3
2001	1185,3	71,1	438,4	26,3
2002	1293,3	77,6	637,0	38,2

Quelle: Tab. 9 und Gleichung in diesem Abschnitt.

Kommentar

Die HFKW-Emissionen aus dem Bestand stationärer Klimaanlage steigen mit dem Wachstum des mittleren Bestandes konstant an, und zwar bei beiden Kältemitteln. Eine Sättigung ist sowohl für 134a als auch für 407C ab ca. 2020 zu erwarten, und zwar bei ca. 140 t Emissionen von 134a und 190 t Emissionen von 407C.

12. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle II

Emissionsrate. Für den Bestand gibt es keine neuen Daten zu bewerten, die nicht schon in Teil I bewertet worden sind. Anders die Emissionsrate von 6%. Sie gründet auf Expertenschätzung. Lediglich für Turboanlagen gibt es Literaturquellen, allerdings nur für FCKW-11-Anlagen. Zugleich wurde nur für Turboanlagen von einem Experten ein sehr stark nach unten abweichender Wert (2%) genannt, und zwar für moderne HFKW-Anlagen.

Dennoch entschied ÖR, für alle stationären Klimaanlage einen einheitlichen Wert von 6% anzuwenden. ÖR schätzt den möglichen Fehlerspielraum für die 134a-Emissionen (Turboanlagen verwenden ausschließlich 134a) auf $\pm 30\%$ ($6\% \pm 2\%$). Bei den überwiegend mit 407C betriebenen kleineren Anlagen wird er für geringer gehalten: $6\% \pm 1\%$.

13. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Das IPCC-Manual GPG formuliert unter "3.7.4 Stationary refrigeration sub-source category" als allgemeine Gleichung 3.42 der laufenden Emissionen im Rahmen eines Bottom-up approach:

$\text{Operating Emissions} = (\text{Amount of HFC and PFC Stock in year } t) \times (x/100)$

Dabei ist x die Emissionsrate. Als default value (best estimates) wird in Table 3.22 als Emissionsfaktor (% of initial charge/year) für "Chillers" eine Größenordnung von 2 bis 15 genannt. ÖR liegt mit seinen länderspezifischen Daten, die laut Box 3 des Decision Tree for Actual Emissions (Tier 2) bevorzugt angewendet werden sollen, im unteren Bereich des Vorschlags. Der IPCC-Wert stammt von 1999.

14. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Average annual stocks" und "Emissions from stocks" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihe 59 für 134a, Reihen 60-63 für 407C. Es sind jeweils die Spalten C und I.

F-Gas-Blatt 6 Raumklimageräte

F-Gase	HFKW 407C, HFKW 410A
Anwendung	Raumklimageräte
Berichtsjahre	1998 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand

Hintergrund

Raumklimageräte dienen der Temperierung der Innenraumluft einzelner Wohn- und Arbeitsräume bzw. ganzer Stockwerke. Der Kälteleistungsbereich liegt im Allgemeinen unterhalb von 20 kW, reicht aber bei größeren Anlagen bis zu 60 kW. Es wird generell nicht umlaufendes Kaltwasser gekühlt, sondern es handelt sich um direktverdampfende Systeme.

Grundsätzlich lassen sich Raumklimageräte in mobile (transportable) und ortsfeste Geräte unterscheiden.

Mobile Geräte sind meist kompakt, d.h. sie enthalten alle Komponenten des Kältekreislaufs in sich. Die dem Raum entnommene Wärme wird über Schläuche an die Außenluft abgegeben. Es gibt auch mobile Geräte in Split-Ausführung. Das System in zwei Einheiten aufgeteilt. Kälteaggregat mit Kondensator befindet sich im Freien, das Klimagerät mit Verdampfer und Umwälzventilator im Innenraum. Die Kälteleistung solcher Systeme ist höher. Sie reicht bis zu 5 kW. Der Vorteil ist die niedrigere Geräuschentwicklung im Innenraum.

Ortsfeste Geräte sind immer Splitgeräte. Das Innenteil dieser Stand-, Wand-, Decken- oder Kassettengeräte besteht aus Verdampfer, Ventilator und Steuerung. Mit Hilfe einer Kältemittelleitung wird die Wärme, die dem Raum entnommen wurde, nach außen transportiert und dort über den Kondensator an die Außenluft abgegeben. Der Verdichter ist im Außenteil untergebracht.

Eine zunehmend wichtigere Sonderform ortsfester Splitgeräte sind Multi-Splitgeräte, bei denen an ein Außenteil fünf und mehr Innengeräte angeschlossen werden können. Dadurch eignen sich diese Systeme für die Kühlung größerer oder mehrerer Räume. Die Kälteleistung bis zu 60 kW macht sie zu Konkurrenten teurerer stationärer Klimaanlageanlagen, die als Kaltwassersätze ausgeführt sind.

Im Gegensatz zu mobilen Geräten muss bei Split- und Multisplitgeräten vor Ort eine Kältemittelleitung verlegt werden, die mehrere Meter lang sein kann.

Es gibt in Deutschland keine Produktion von Raumklimageräten. Die Geräte werden durchweg importiert, und zwar schon befüllt.

Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

1 Aktivitätsdaten. Der jährliche HFKW-Zugang

Wie in der Einleitung bemerkt wurde, werden in Deutschland keine Raumklimageräte produziert. Da sie bereits mit Kältemittelfüllung ins Land kommen, brauchen keine Fertigungsemissionen (Em_{manu}) ermittelt zu werden. Zwar wird bei der Installation von Splitgeräten die Kältemittelleitung erst vor Ort verlegt und mit zusätzlichem Kältemittel aufgefüllt (etwa 15 g pro Meter). Doch sind diese inländischen Auffüllungen insgesamt so gering, dass von ihnen abgesehen wird.

Zu ermittelnde Aktivitätsdaten sind daher nur die jährlichen Kältemittel-Zugänge in neuen Geräten (In_{bank}) und der sich aus den Zugängen seit dem HFKW-Startjahr aufbauende Kältemittelbestand (EB bzw. B).

1.a Jährlich im Inland abgesetzte Raumklimageräte mit chlorefreiem Kältemittel

Durch Befragung inländischer Anbieter wurde die Anzahl der seit 1998 jährlich in Deutschland verkauften Raumklimageräte nach den drei Ausführungen "Mobil", "Split" und "Multi-Split" ermittelt. Das späte Startjahr 1998 kommt daher, dass bis 1997 praktisch nur Geräte mit HFKW-22 ausgeliefert wurden. 1998 kamen die ersten Geräte mit 407C, 2000 die ersten Geräte mit 410A auf den Markt. Erst seit 2000 gibt es keine Neugeräte mit HFCKW-22 mehr. Die Zahlen enthält Tab. 1.

Tab. 1: Jährliche Stückzahl der in Deutschland verkauften Raumklimageräte mit chlorefreiem Kältemittel - nach Bauart 1998-2002					
Ausführung	1998	1999	2000	2001	2002
1. Mobil	5.000	20.000	46.600	57.700	56.400
2. Split	8.160	24.510	46.841	50.630	47.730
3. Multi-Split	1.440	4.300	9.400	8.900	8.400
Gesamt	14.600	48.810	102.841	117.230	112.530

Quellen: Branchenexperten. Die niedrigen Werte in 1998 und 1999 erklären sich aus der noch beträchtlichen Verbreitung von Geräten mit HFCKW-22, der bekanntlich Chlor enthält.

1.b Das Kältemittel-Modell für Raumklimageräte

Zur Bestimmung des Kältemittel-Zugangs seit 1998 wird ein mit Hilfe von Branchenexperten entwickeltes Modell (Tab. 2) benutzt, das für die drei Kategorien von Raumklimageräten die mittlere Kälteleistung in kW, die mittlere Füllmenge in kg und die verwendeten Kältemittel-Typen nach prozentualen Anteilen enthält.

Tab. 2: Typische Kältemittelverteilung in Raumklimageräten nach Bauart sowie mittlere Kälteleistung und mittlere Füllmenge (1998-2002)

Bauart	Mobil		Split		Multi-Split	
Kälteleistung	3 kW		6 kW		15 kW	
Füllung	1,0 kg*		1,55 kg		6,2 kg	
Kältemittel	R-290**	407C	407C	410A	407C	410A
1998	27%	73%	100%	n.v.	100%	n.v.
1999	27%	73%	100%	n.v.	100%	n.v.
2000	27%	73%	90%	10%	100%	n.v.
2001	27%	73%	80%	20%	100%	n.v.
2002	27%	73%	80%	20%	90%	10%

Quellen: s. Abschnitt zur Datenermittlung. * Die Füllmenge gilt nur für HFKW-Geräte, nicht für solche mit Propan, wo nur die Hälfte Gewicht erforderlich ist. ** R-290 = Propan.

Erläuterung: Die Prozentsätze beziehen sich nur auf chlorfreie Kältemittel (HFKW und Kohlenwasserstoffe), nicht auf alle. Noch bis 2000 wurden Neugeräte mit HFCKW importiert.

1.c Der jährliche HFKW-Zugang in neuen Raumklimageräten

Der jährliche Zugang (In_{bank}) eines bestimmten Kältemittels im Jahr n ergibt sich in zwei Schritten. Durch Multiplikation der Stückzahl eines bestimmten Klimaanlage-Systems (Tab. 1) mit der zugehörigen Füllmenge in kg – nach Tab. 2, Zeile "Füllung"; und weiter durch Multiplikation dieses Produkts mit dem prozentualen Anteil des Kältemittels für das entsprechende System im fraglichen Jahr n – ebenfalls nach Tab. 2. Daraus leitet sich der HFKW-Zugang lt. Tab. 3 ab.

Tab. 3: HFKW-Zugang in neuen Raumklimageräten 1998-2002 in t/a

	HFKW-407C	HFKW-410A
1998	25,2	n.v.
1999	79,3	n.v.
2000	157,6	7,3
2001	139,0	36,8
2002	126,6	40,6

Quellen: Stückzahlen lt. Tab. 1. Anteile der Kältemitteltypen und Füllmengen lt. Tab. 2.

Erläuterung: n.v. bedeutet, dass das Kältemittel (410A) noch nicht verwendet wurde.

Kommentar

Nach dem späten Start von HFKW in Raumklimageräten (1998) waren die Zugänge zunächst ganz durch die Mischung 407C geprägt. Kohlenwasserstoffe kommen nur in mobilen Geräten vor, wo sie immerhin einen Marktanteil von über 25% halten. Seit 2001 hat 410A an Bedeutung gewonnen, da es energetisch günstiger als 407C ist. Die technischen Anwendungsprobleme (hohe Drücke) gelten als gemeistert, so dass dem HFKW 410A ein dynamisches Wachstum prognostiziert wird.

2. Der HFKW-Bestand in Raumklimageräten

Der HFKW-Endbestand eines Jahres (EB_n) in Raumklimageräten im Inland erhöht sich seit dem Startjahr 1998 jährlich um den inländischen Zugang (In_{bank}), solange keine Abgänge vorkommen. Abgänge sind bei der Lebensdauer von 10 Jahren erst ab 2008 systematisch zu erwarten.

Der mittlere Jahres-Bestand (B n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres (EB n-1) und des laufenden Jahres (EB n). Als Gleichung:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2} \quad \text{wobei} \quad EB_n = EB_{n-1} + \ln_{\text{bank } n}$

Der mittlere Jahresbestand (B n) weist damit nachfolgende Zeitreihe auf:

Tab. 4: Mittlerer jährlicher HFKW-Bestand (B n) in Raumklimageräten seit 1998 in t/a		
	HFKW-407C	HFKW-410A
1998	12,6	-
1999	64,9	-
2000	183,3	3,6
2001	331,6	25,6
2002	464,5	64,3

Quelle: Tab. 3 in Verbindung mit der Gleichung in diesem Abschnitt.

3. Ermittlung und Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

Eine öffentlich zugängliche Statistik zum Absatz von Raumklimageräten nach Bauarten, Kältemittel usw. liegt nicht vor. Die inländischen Anbieter tauschen ihre Absatzzahlen allerdings jährlich bei der CCI.Print (Fachzeitung für Technische Gebäudeausrüstung) untereinander aus, so dass sie den Gesamtmarkt kennen. Die Verkaufszahlen und die Daten für das Kältemodell stammen aus der Befragung von Experten von zwei führenden deutschen Importeuren japanischer Produkte (Hitachi, Daikin) aller Bauarten. Zum Anteil halogenfreier Kältemittel wurde der europäische Marktführer bei mobilen Klimageräten De'Longhi (Italien) befragt. Die Gesamt-Daten wurden von den kältetechnischen Experten von Solvay Fluor & Derivate begutachtet.

Es sollte möglich sein, künftig die Daten direkt von CCI.Print zu erhalten. Diese Möglichkeit schloss der Chefredakteur Dr. Manfred Stahl, gegenüber ÖR nicht aus.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Polenz Klimageräte GmbH, Norderstedt, 01.03.99, 16.11.02, 10.10.03.

Daikin Airconditioning Germany GmbH, Unterhaching, 16.10.03.

Solvay Fluor & Derivate GmbH, Hannover: HFC RAC sold to the German market and key figures for the estimation of their lifetime, average capacities in kW and charge in kg/kW. Intern. Aufstellung, 27.03.03.

Öko-Recherche/Solvay Fluor: Fachgespräch über Basisdaten und Verkaufsmengen für HFKW in stationären kälte- und klimatechnischen Anwendungen, Teilnehmer: Winfried Schwarz (ÖR), Christoph Meurer (Solvay) und Felix Flohr (Solvay), Hannover 26.03.03.

Redaktion CCI.Print, Karlsruhe, 21.11.03.

De'Longhi S.p.A., Treviso (Italia), 21. u. 23.01.04.

4. Rate der laufenden Emissionen vom Bestand

Die laufenden HFKW-Emissionen aus Raumklimageräten werden für alle Ausführungen (Mobil, Split, Multi-Split), Größen und Kältemittel-Typen gleich, nämlich auf 2,5% geschätzt.

5. Ermittlung der laufenden Emissionsrate

Außer dem Schätzwert 1,5% von W. Schwarz in den Fachzeitschriften KK und KI im Jahr 2000 wurden keine Literatur-Werte gefunden. Im Rahmen einer Aktualisierung wurden im Jahr 2003/2004 einige Branchenexperten von ÖR neu befragt. Die höchste Schätzung gab die Expertin des italienischen Herstellers De'Longhi ab, der sowohl HFKW- als auch KW-befüllte Geräte liefert. Sie hielt 1,5% jährlichen Verlust bestenfalls für werkseitig vollständig gefertigte und versiegelte Geräte für möglich. Bei Split-Systemen (mit vor Ort montierten Kältemittelleitungen) sah hielt sie die Emissionsraten deutlich höher, im Einzelfall bis zu 30% pro Jahr. Gründe: Die mechanischen Verbindungen würden durch Vibrationen gelockert, und die Monteure könnten nicht immer dauerhaft dichte Verbindungen schaffen.

Dass die vor Ort montierten Splitgeräte zu höheren Kältemittelverlusten tendieren als Kompaktgeräte, ist plausibel. Werden 1,5% bei Kompaktgeräten für realistisch gehalten, sind die laufenden Emissionen der Split-Geräte mindestens doppelt so hoch, mithin ca. 3-4%. Wie bei stationären Klimaanlage > 20 kW wird die Emissionsrate für Raumklimageräte nicht nach Bauarten differenziert, sondern es wird eine einheitliche verwendet, die nach den Marktanteilen der kompakten und Split-Systeme "gewichtet" wird. Daraus leitet sich der Sammelwert von 2,5% für alle Raumklimageräte ab.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Winfried Schwarz, HFKW-Emissionen aus Kälte- und stationären Klimaanlage. Aus einer neuen Studie des Umweltbundesamts zu Minderungspotentialen fluorierter Treibhausgase in Deutschland, in: DIE KÄLTE & Klimatechnik 4/2000, S. 16.

Winfried Schwarz, HFKW-Emissionen aus Kälte- und Klimaanlage bis 2010, in: KI Luft- und Kältetechnik 4/2000, 164-170.

Öko-Recherche/Solvay Fluor: Fachgespräch über Basisdaten und Verkaufsmengen für HFKW in stationären kälte- und klimatechnischen Anwendungen, Teilnehmer: Winfried Schwarz (ÖR), Christoph Meurer (Solvay) und Felix Flohr (Solvay), Hannover 26.03.03.

Daikin Airconditioning Germany GmbH, Unterhaching, 16.10.03.

De'Longhi S.p.A., Treviso (Italia), 23.01.04.

6. Laufende HFKW-Emissionen vom Bestand

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER) an den durch Addition der jährlichen inl. HFKW-Neuzugänge entstandenen mittleren Bestand B_n jenes Jahres (vgl. Abschnitt 2):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei einer ER von 2,5% für HFKW-haltige Raumklimageräte, unabhängig von der Ausführung, ergibt sich als Gleichung für die laufenden Emissionen:

$ER_{op} (2,5 \%)$	$\times$	B_n
--------------------	----------	-------

Die lfd. jährlichen HFKW-Emissionen aus dem Bestand sind (in t/a):

Tab. 5: Mittlerer Bestand und lfd. Emissionen von 407C und 410A aus Raumklimageräten 1998-2002 in t/a				
	HFKW-407C		HFKW-410A	
	Mittlerer Bestand	Lfd. Emission	Mittlerer Bestand	Lfd. Emission
1998	12,6	0,32	-	-
1999	64,9	1,62	-	-
2000	183,3	4,58	3,6	0,1
2001	331,6	8,29	25,6	0,6
2002	464,5	11,61	64,3	1,6

Quelle: Tab. 4 und Gleichung in diesem Abschnitt.

Kommentar

Die HFKW-Emissionen aus dem Bestand in Raumklimageräten steigen mit dem Wachstum des mittleren Bestandes konstant an, und zwar bei beiden Kältemitteln. Sollte bis 2010 eine Sättigung bei 190.000 Neugeräten jährlich (20.000 Multi-Split, 90.000 Split, 80.000 Mobil) eintreten, würden die Höchstwerte für Kältemittelbestand und –emissionen 2020 erreicht: bei 3.200 t (Bestand) bzw. 80 t (Emissionen). Blicke die Relation zwischen 407C und 410A bei 80% zu 20%, wären es dann 64 t 407C und 16 t 410A. Es ist allerdings mit einer Verschiebung zu 410A zu rechnen.

7. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle

Aktivitätsdaten. Die Daten über die jährlichen Verkaufszahlen nach technischen Ausführungen sowie nach eingesetzten Kältemitteltypen können als robust gelten, da die befragten Experten den Gesamtmarkt von ihrem jährlichen Rund-Tisch-Gespräch bei CCI.Print kennen. Der Fehlerspielraum beschränkt sich auf Auf- und Abrundungen auf "volle Tausend" und damit auf ca. 2%. Die mittleren Füllmengen für mobile, Split- und Multi-Split-Geräte (1,0, 1.55 und 6,2 kg) sind aus weiteren Schätzungen hervorgegangen, die um maximal 10% zwischen den einzelnen Experten (fünf) abwichen.

Die Qualitätskontrolle bestand bisher nur darin, die Angaben verschiedener Anbieter (zum Gesamtmarkt) miteinander zu vergleichen. Eine Verbesserung wäre die direkte und kostenfreie Nutzung der statistischen Daten von CCI.Print, die bisher nur auf kommerziellem Weg erhältlich sind.

Emissionsrate. Die mittlere Emissionsrate von 2,5% gründet auf der Plausibilität der höheren Leckageanfälligkeit von Split-Systemen gegenüber kompakten Geräten. Für letztere räumen führende Hersteller 1,5% ein. Da auch bei Split-Geräten hermetische Verdichter eingesetzt werden, wird deren spezifische Emissionsrate nur auf 3-4%, nicht höher, geschätzt.

Die Datenunsicherheit bleibt dennoch relativ hoch, solange keine effektiven und systematisch ausgewerteten Erfahrungswerte vorliegen. Der Fehlerspielraum wird mit $2,5\% \pm 1\%$ als noch recht hoch eingeschätzt.

8. Verhältnis zur IPCC-Methode

Das IPCC-Manual GPG formuliert unter "3.7.4 Stationary refrigeration sub-source category" als allgemeine Gleichung 3.42 der laufenden Emissionen im Rahmen eines Bottom-up approach:

$\text{Operating Emissions} = (\text{Amount of HFC and PFC Stock in year } t) \times (x/100)$

Dabei ist $x/100$ die Emissionsrate. Als default value (best estimates) wird in Table 3.22 als Emissionsfaktor (% of initial charge/year) für "Residential and Commercial A/C" eine Größenordnung von 1 bis 5 genannt. ÖR liegt mit seinen länderspezifischen Daten, die laut Box 3 des Decision Tree for Actual Emissions (Tier 2) bevorzugt angewendet werden sollen, im mittleren Bereich des Vorschlags.

Bei der Lebensdauer, wo IPCC-GPG 10 bis 15 Jahre schätzt, liegt ÖR (10 Jahre) an der unteren Grenze.

9. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Average annual stocks" und "Emissions from stocks" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihe 64-67 für 407C, Reihen 68-70 für 410A. Es sind jeweils die Spalten C und I.

F-Gas-Blatt 7 Industriekälte

F-Gase	HFKW-134a, HFKW 404A, HFKW 407C, HFKW-23, HFKW-227ea, HFKW-236fa, FKW-116
Anwendung	Industriekälte
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand

Hintergrund

Industriekälte ist Kälte im Industriebetrieb und dient, im Unterschied zu den meisten gewerblichen Anwendungen, der Erzeugung von Produkten. Diese sind in der Regel Nahrungsmittel, die gekühlt oder gefroren werden. Außerhalb der Lebensmittelindustrie wird Kälte in diversen anderen industriellen Sektoren eingesetzt, um bestimmte Prozesstemperaturen einzuhalten. Auch im Gewerbe werden zwar teilweise Produkte hergestellt (Fleischereien, Bäckerei, Landwirtschaft), jedoch ist die handwerkliche oder landwirtschaftliche Produktionsweise von industrieller verschieden und abgrenzbar.

Mit der Gewerbekälte hat die Industriekälte gemein, dass die kältetechnische Ausstattung in der Regel nicht serienmäßig erzeugt wurde, sondern hinsichtlich Bauart, Größe, Kältemitteltyp eine individuell angepasste Lösung darstellt. Dies hat Folgen für die erzielbare Anlagendichtheit.

Ein wichtiger Unterschied zur Gewerbekälte ist derjenige, dass fluorhaltige Kältemittel in der Industrie keineswegs allgemeiner Standard sind und natürliche Kältemittel die Ausnahme. Eher umgekehrt ist die Situation vor allem in der Nahrungsmittelindustrie, wo große Kälteanlagen in der Regel mit Ammoniak betrieben werden. Dies hängt auch damit zusammen, dass hier professioneller Umgang mit toxischen Kältemitteln durch Fachpersonal vorausgesetzt werden kann, was bei dem Personenkreis, der mit gewerblichen Kälteanlagen in Kontakt kommt, gewöhnlich nicht der Fall ist.

Der wichtigste HFKW für stationäre Kälteanlagen ist heute die Mischung R-404A, die den Reinstoff HFKW-134a an Bedeutung überholt hat. Auch die Mischung 407C spielt eine Rolle sowie - in der Tieftemperatur - HFKW-23 und FKW-116 und bei höheren Temperaturen der HFKW-227ea.

I. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

1 Aktivitätsdaten I. Der jährliche HFKW-Verbrauch im Inland

Da Außenhandel mit vor Ort errichteten Kälteanlagen vernachlässigbar ist, ist der jährliche HFKW-Verbrauch für Neuanlagen gleich dem HFKW-Zugang in Neuanlagen ($C_{\text{manu}} = I_{\text{nbank}}$). Wie in der Gewerbekälte liegen über den Verbrauch von Kältemitteln für Industriebetriebe keine direkten statistischen Daten vor. Die im Inland vertretenen Kältemittelhersteller kennen zwar ihre jährlichen Verkäufe und haben Vorstellungen von den Haupteinsatzgebieten. Ihre Schätzungen reichen aber nicht aus, wenn es um tiefere Gliederungen der industriellen Anwendungen geht. Es gibt zwar Kältemittel, die eindeutig stationären Kälte- gegenüber mobilen Klimaanwendungen zuzuordnen sind (z.B. 404A), aber kaum ein Kältemittel, von dem sich sagen lässt, dass es nur industriell oder nur gewerblich eingesetzt wird. Daher ist das Kältemittelmodell zur Ermittlung des jährlichen Neuverbrauchs in der Industriekälte fast so kompliziert wie im Gewerbe, das im nächsten F-Gas-Blatt behandelt wird.

Exkurs zur Methode: Das mehrstufige Kältemittelmodell für die Industriekälte

Der Ansatz, der hier praktiziert wird, solange keine direkten statistischen Kältemitteldaten vorliegen, besteht vor allem darin, den jährlichen inländischen Bestand nicht über die jährlichen Neuverbräuche zu ermitteln, sondern umgekehrt:

Zuerst wird anhand eines tiefgestaffelten Modells der Kältemittel-Bestand für den (noch nicht erreichten) Zielzustand abgeschätzt, bei dem alle bestehenden Kälteanlagen, die für HFKW in Frage kommen (natürliche Kältemittel sind subtrahiert), chlorfrei betrieben werden, d.h. nur noch mit HFKW. Der "Zielbestand" wird vom Umfang her auf mittlere Frist als stabil angenommen, was durchaus realitätsgerecht erscheint.

Zweitens. Aus diesem Zielbestand lässt sich über die mittlere Anlagen-Lebensdauer berechnen, wie viel Kältemittel jährlich in Neuanlagen gefüllt werden muss, um den Bestand aufgrund ausscheidender Altanlagen zu erhalten. Bei der Lebensdauer 10 Jahre beträgt dieser Gleichgewichts-Neuverbrauch ein Zehntel des Bestands.

Es ist klar, dass auf diese Weise empirische Marktschwankungen nicht zur Geltung kommen, sondern quasi nur ihre langfristigen Mittelwerte. Und auch diese sind nur so verlässlich, wie das Bestandsmodell selber die Realität abbildet.

Drittens. Die jährlichen HFKW-Zugänge während der neunziger Jahre sind auf diese Weise allein noch nicht erfasst. Wie bekannt, haben HFKW chlorhaltige Kältemittel nicht zu einem bestimmten Stichtag bei neuen Anlagen abgelöst. Seit etwa 1993 wurden neue Kälteanlagen über Jahre parallel auch noch mit chlorhaltigen Kältemitteln befüllt. Benötigt wird der - jährlich wachsende - HFKW-Anteil am per Modell errechneten Verbrauch für Neuanlagen. Diese Anteile liegen relativ verlässlich aus Befragungen von Kältemittelherstellern vor.

Viertens. Durch vorzeitigen Ersatz von R-12 (vor allem durch HFKW-134a) wurden in den 90er Jahren mitunter jährlich mehr als 100% des Gleichgewichtsbedarfs neu verbraucht. Dies ist nachfolgend gleichfalls berücksichtigt.

1.1 Das Modell für den Kältemittelbestand in der Industriekälte

Das detaillierte Modell für die Industriekälte ist derart umfangreich, dass es nicht hier präsentiert wird, sondern als Anhang zu diesem F-Gas-Blatt. Es wird hier gleich mit den daraus abgeleiteten Resultaten fortgefahren.

1.2 Kältemittelbestand und rechnerischer (H)FKW-Verbrauch im Gleichgewicht

Aus dem Modell im Anhang ergeben sich Gesamtwerte für Zielbestand und rechnerischen Jahresverbrauch, getrennt nach den HFKW-Kältemitteln 404A, 134a, 407C, 23, 227ea (mit geringem Anteil 236fa) und dem FKW 116.

Tab. 1 zeigt Gleichgewichts- bzw. Zielbestand nach Kältemitteln.

Tab. 1: Kältemittel-Zielbestand in t in der Industriekälte						
Kältemittel	404A	134a	407C	23/116	227/236	Summe
Menge in t	3065	1479	300	105	73	5021

Quelle: Modell im Anhang dieses Blatts.

Tab. 2 enthält den rechnerischen jährlichen (H)FKW-Neuverbrauch im Gleichgewicht bei einer allgemeinen Anlagenlebensdauer von zehn Jahren (jeweils 1/10 v. Tab 1).

Tab. 2: Rechnerischer Neuverbrauch in t/a in der Industriekälte (Gleichgewicht)						
	404A	134a	407C	23+116	227/236	Summe
Kältemittel	306,5	147,9	30,0	10,5	7,3	502,1

Quelle: Tab. 1.

1.3 (H)FKW-Anteile an Kältemitteln für Neuanlagen und für R-12-Ersatz

(H)FKW wurden ab 1993 in Neuanlagen gefüllt. Der gegenüber chlorhaltigen Kältemitteln stetig steigende Anteil hatte spätestens im Jahr 2000 die 100%-Quote erreicht. Der HFKW-134a als bevorzugter Ersatzstoff für R-12 in der Industriekälte hatte - vor allem wegen der Substitution bei Turboverdichteranlagen - in den Jahren 1997 und 1998 sogar Verbrauchswerte von weit über dem Gleichgewicht, nämlich 123% bzw. 146%. Das heißt, dass in beiden Jahren etwa die Hälfte des Neuverbrauchs in Altanlagen gefüllt wurde. Tab. 3 zeigt diese Quoten für alle Stoffe.

Tab. 3: Anteile von(H)FKW an Kältemitteln für Neuanlagen 1993-2002						
	404A	134a	407C	23	116	227/236
1993	2%	5%	10%	32%	0%	3%
1994	3%	17%	17%	42%	0%	3%
1995	20%	34%	33%	53%	0%	45%
1996	39%	78%	33%	63%	50%	72%
1997	64%	123%	50%	74%	60%	86%
1998	97%	146%	67%	95%	70%	100%
1999	100%	100%	100%	100%	80%	100%
2000	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Quelle: Abschnitt 3. Fett: Jahre der R-12-Substitution, mehr als 100% des Gleichgewichtswerts.

1.4 Der jährliche Neuverbrauch von (H)FKW-Kältemitteln seit 1993

Der zwischen 1993 und 2002 erfolgte jährliche Verbrauch von HFKW- und FKW-Kältemitteln für neue Anlagen und – im Falle von HFKW-134a – auch für umgerüstete Altanlagen ergibt sich rechnerisch, indem die Gleichgewichtswerte laut Tab. 2 mit den entsprechenden Anteilen lt. Tab. 3 gewichtet (multipliziert) werden. Der so zustande kommende jährliche HFKW/FKW-Neuverbrauch ist in Tab. 4 dargestellt.

Tab. 4: Berechneter jährlicher Verbrauch von HFKW und FKW für Neuanlagen und Umrüstungen in der Industriekälte 1993-2002 in t/a						
	404A	134a	407C	23	116	227/236*
1993	5	8	3	3	0	0,3
1994	10	25	5	4	0	0,3
1995	60	50	10	5	0	3,3
1996	120	115	10	6	0,5	5,3
1997	196	182	15	7	0,6	6,3
1998	296	216	20	9	0,7	7,3
1999	306	148	30	9,5	0,8	7,3
2000	306	148	30	9,5	1	7,3
2001	306	148	30	9,5	1	7,3
2002	306	148	30	9,5	1	7,3

Quellen: Berechnet aus Tab. 2 und Tab. 3. Fett: Jahre der verstärkten R-12-Substitution.

* Nur bei der Kranklimatisierung (Zielbestand: 2,5 t) hat 236fa seit 1999 einen Anteil von 10% (Rest: 227ea). Wegen seiner minimalen Bedeutung wird 236fa nicht gesondert berücksichtigt.

Kommentar zum jährlichen Neuverbrauch in der gesamten Industriekälte

In den Jahren 1993 und 1994 war 134a das Hauptkältemittel. Es wird aber seit 1995 in der Bedeutung von 404A (einschl. 507) übertroffen. Das traf sogar während der Spitzenjahre des R-12-Ersatzes durch HFKW-134a zu. In der Industriekälte war der Vorläufer von 134a, der FCKW-12, nie das wichtigste halogenierte Kältemittel. Dieses ist immer der HFCKW-22 gewesen. Dessen Nachfolger ist der HFKW 404A, der auch Teile des früheren R-12 sowie der Mischung R-502 ersetzt. Der HFKW 407C spielt vor allem bei Flüssigkühlsätzen eine Rolle, gleichfalls in der Nachfolge von R-22. Die bestimmende Rolle von R-22 ist auch der Grund, dass der Ersatz FCKW-haltiger Kältemittel durch Servicekältemittel in der Industrie von untergeordneter Bedeutung ist. Der HFKW-23 kommt in Tieftemperaturanwendungen vor und ersetzt, wie der FKW-116, vor allem R13, R13B1 und R 503. Der HFKW-227ea ist ein Nachfolger für den FCKW-114 und für R 12B1 mit der Hauptanwendung Hochtemperatur-Wärmepumpen.

Das Niveau des vom Modell abgeleiteten Gleichgewichtswerts hat der Neuverbrauch seit 2000 nunmehr bei allen Kältemitteln erreicht.

2. Emissionen bei der Neubefüllung alter und neuer Kälteanlagen

Die Befüllemmissionen sind bei kältetechnischen Anlagen im Allgemeinen gering. Das CRF verlangt ihre Berichterstattung ab 1995.

2.1 Emissionsfaktor der Befüllung

Generell wird ein Emissionsfaktor (EF_{manu}) von 0,15% auf die jährlich eingefüllte (H)FKW-Menge angewendet.

Dem EF_{manu} liegt die Erfahrung zugrunde, dass pro Befüllvorgang etwa eine Schlauchfüllung mit 5 bis 10 Gramm entweicht. Bei einer mittleren Füllmenge von 5 kg in der Industrie ergeben sich 0,15% als Schwankungszentrum.

2.2 Fertigungsemissionen in der Industriekälte

Tab. 5: (H)FKW-Befüllverluste bei alten und neuen stationärer Kälteanlagen in der Industriekälte 1995-2002 in t/a ($EF_{\text{manu}} = 0,15\%$)						
	404A	134a	407C	23	116	227/236
1995	0,09	0,08	0,02	0,01	0,00	0,00
1996	0,18	0,17	0,02	0,01	0,00	0,01
1997	0,29	0,27	0,02	0,01	0,00	0,01
1998	0,44	0,32	0,03	0,01	0,00	0,01
1999	0,46	0,22	0,05	0,01	0,00	0,01
2000	0,46	0,22	0,05	0,01	0,00	0,01
2001	0,46	0,22	0,05	0,01	0,00	0,01
2002	0,46	0,22	0,05	0,01	0,00	0,01

Quellen: Berechnet aus Tab. 4. Die Verbrauchswerte dort wurden mit 0,15% multipliziert.

Kommentar

Tabelle 5 zeigt: Die absoluten Befüllemmissionen bewegen sich mit Ausnahme der Hauptkältemittel HFKW-134a und HFKW 404A nur im Kilogramm-Bereich. Die Befüllverluste von 404A liegen seit 1999 bei knapp einer halben Tonne, die von 134a bei ca. 220 kg. Diese Werte bleiben modellgemäß bis auf weiteres konstant.

3. Ermittlung und Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

Mangels direkter statistischer Erhebungen des jährlichen Kältemittelverbrauchs für die Industriekälte muss der jährliche Neuverbrauch indirekt über mehrere Determinanten ermittelt werden, die in einem Modell zusammengefasst sind, das die Verhältnisse sowohl in der Nahrungsmittelindustrie als auch in der sonstigen Industrie abbilden soll. Von entscheidender Bedeutung ist die innere Struktur des Kältemittel-Bestands im "Zielzustand". Es gilt, für jede Einzelanwendung die Zahl der Anlagen und deren kältetechnische Ausstattung, insbes. die typische Kälteleistung, zu eruieren.

Für das Modell der Nahrungsmittelindustrie (75% des industriellen Kältemittelbestands) boten die von FKW-Hannover und ILK-Dresden im DKV-Statusbericht "Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte" 2002 vorgelegten Daten dafür in den meisten Fällen die geeignete Grundlage. Die Gliederung der Nahrungsmittelindustrie, die Anzahl der Anlagen sowie deren mittlere Kälteleistung in kW wurden übernommen.

Da die Kälteleistung unabhängig von der Kältemittelart vorlag, bestand der nächste Schritt darin, für alle einzelnen Anwendungen den HFKW-Anteil (vor allem gegen Ammoniak) abzuschätzen. Im nächsten Schritt wurden aus Kälteleistungen in kW die zugehörigen Kältemittel-Füllungen in kg bestimmt, was mehrere spezifische Kennziffern

"kg KM/kW" erforderte. Der dritte Schritt war die Zuordnung der Kältemittel 404A (für Tiefkühlen und Gefrieren) und 134a (für Normalkühlung).

Diese drei ergänzenden Schritte wurden von Öko-Recherche zusammen mit den kältetechnischen Experten der Solvay Fluor & Derivate, Meurer und Flohr, im Jahr 2003 durchgeführt (teilweise unter Heranziehung externer Experten und von Fachliteratur).

Mit den Solvay-Experten wurden auch diejenigen Industriekälte-Anwendungen außerhalb der Nahrungsmittelindustrie bearbeitet, die nicht in der DKV-Studie standen. Auf frühere Studien des FKW-Hannover gehen die Daten zu Hochtemperatur-Wärmepumpen und zu Tieftemperaturanlagen zur Gefriertrocknung sowie in der Chemischen Industrie zurück. Aus eigenen Erhebungen von Öko-Recherche stammen Informationen zu industriellen Turboanlagen, zu Flüssigkeitskühlsätzen in der verarbeitenden Industrie (Kühlung von Schmierstoffen usw.) und zur Krankklimatisierung.

Die Information über die besonders hohen Verbrauchsmengen von 134a für den Ersatz von R-12 in Altanlagen in den Jahren 1996/1997 gehen auf eine Studie von Öko-Recherche im Auftrag des Umweltbundesamts zurück.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Ersatz der FCKW R11, R13, R503, R13B1, R113, R114 und R12B1 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, Statusbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Hannover, Mai 1998.

Öko-Recherche: R-12-Ersatz bei Altanlagen von 1996 bis Mitte 1998. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, August 1998.

<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/vollR12.pdf>.

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

Öko-Recherche/Solvay Fluor: Fachgespräch über Basisdaten und Verkaufsmengen für HFKW in stationären kälte- und klimatechnischen Anwendungen, Teilnehmer: Winfried Schwarz (ÖR), Christoph Meurer (Solvay) und Felix Flohr (Solvay), Hannover 26.03.03.

DuPont Deutschland GmbH, Bad Homburg, Mitt. über den Absatz von HFKW-236fa als Kältemittel, auf der IKK 2003, Hannover 10.10.03.

Weisshaar GmbH & Co. KG, Bad Salzuflen, Information über die Kältemittel bei Krankklimaanlagen, 14.10.03.

Kältemittel-Hersteller. Direkte Befragung 1999 und 2003 zu Verkaufsmengen und Perspektiven chlorfreier Kältemittel für Anwendung in der stationären Kälte- und Klimatechnik:

Deutsche ICI GmbH bzw. Ineos Fluor International Ltd., Frankfurt, 16.03.99 u. 10.10.03.

Du Pont Deutschland GmbH, Bad Homburg, 17.02.99 u. 10.10.03.

Elf Atochem bzw. ATOFINA Deutschland GmbH, Düsseldorf, 12.04.99 u. 10.10.03.

Westfalen AG, Münster, 24.02.99 u. 10.10.03.

Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover, 16.03.99 u. 10.10.03.

ILK Dresden/FKW Hannover, Aktuelle TEWI-Betrachtung von Kälteanlagen mit HFKW- und PFKW-Kältemitteln unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Rahmenbedingungen für verschiedene Anwendungsgebiete, im Auftrag des Forschungsrats Kältetechnik e.V., FKT 96/03, Frankfurt, November 2003.

4. Ermittlung und Informationsquelle für den Befüll-Emissionsfaktor

Der Emissionsfaktor EF_{manu} (0,15%) gründet auf Einschätzung von Öko-Recherche.

5. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Der Kältemittelbestand im "Zielzustand", gegliedert nach zahlreichen Anwendungen, ist die Ausgangsbedingung aller anderen Aktivitätsdaten. Die Zahl der Anlagenbetreiber ist durch amtliche und andere Statistiken gut fundiert, auf Expertenurteil basieren allerdings die typische Anlagenkonfiguration einschl. Kälteleistung sowie der Anteil von HFKW-betriebenen an der Gesamtheit der Anlagen.

Der kritischste Punkt ist der nächste Schritt, nämlich die durchschnittliche Kältemittelfüllung in kg pro kW Kälteleistung. Dazu mussten Daumenregeln von Experten zu Hilfe genommen werden. (Die in einer neueren Studie im Auftrag des Forschungsrats Kältetechnik, Frankfurt, November 2003, veröffentlichten Kennziffern in kg/kW decken sich mit den hier verwendeten nicht und wurden nicht zu einer Aktualisierung herangezogen.) Weitere Schritte bis zur Fertigstellung der Modelle sind Aufteilung nach Kältemitteltypen und Lebensdauer der Anlagen. Erst von diesem Punkt aus lassen sich für Neuanlagen die jährlichen Kältemittelverbräuche ableiten.

Das Fehlerrisiko, das sich bis dahin angehäuft hat, ist relativ groß. Es beträgt für die jährlichen Neuverbräuche (C_{manu}) nach einzelnen Kältemitteltypen etwa $\pm 30\%$, für die Gesamtsumme der Kältemittel weniger, aber noch $\pm 20\%$, zumal die Schwankungen in der allgemeinen Investitionstätigkeit nicht berücksichtigt werden können. Der einzige Korrekturfaktor ist bislang die Expertenschätzung der Kältemittelhersteller, ein begrenztes Mittel, da die Hersteller nur die Gesamtverkäufe pro Jahr kennen, nicht aber nach Neuanlagen-Befüllung und Emissionsersatz unterscheiden können.

Emissionsfaktor. Der Emissionsfaktor (EF_{manu}) 0,15% beruht auf Befragungen von Praxis-Experten. Da keine Messungen vorliegen, kann er allerdings auch 0,10% oder 0,20% betragen. Die Gesamtemissionen (Befüllung plus Emissionen aus dem Bestand) werden durch diese Unsicherheit aber nur marginal berührt.

6. Verhältnis zur IPCC-Methode I

In Table 3.22 (IPCC GPG) werden "best estimates for charge, lifetime and emission factors" präsentiert, und zwar auch für "Industrial Refrigeration including Food Processing and cold storage". Die Füllmengen reichen dort von 10 kg bis 10 t. Die Lebensdauer wird auf zwischen 10 und 20 Jahre geschätzt.

IPCC-GPG gibt für "initial emission" 0,5 bis 3 Prozent der Erstfüllung an. Die länderspezifischen Daten von ÖR liegen mit 0,15% weit darunter.

7. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, worin die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emission from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1. Die Einträge in die Spalten B und H für die Kältemittel der Industriekälte reichen von Zeile 45 bis 57.

II. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

Wie einleitend in Teil I bemerkt wurde, ist aufgrund vernachlässigbaren Außenhandels mit (H)FKW-haltigen stationären Kälteanlagen der jährliche Zugang zum inländischen (H)FKW-Bestand (In_{bank}) grundsätzlich so groß wie der in Teil I betrachtete HFKW-Neuverbrauch im Inland (C_{manu}). Der für die Ermittlung des Bestands erforderliche jährliche Zugang kann daher aus Teil I übernommen werden.

8. Der (H)FKW-Bestand in den Anlagen der Industriekälte

Der (H)FKW-Endbestand eines Jahres (EB_n) in stationären Kälteanlagen erhöht sich seit dem Startjahr 1993 jährlich um den inländischen Zugang (In_{bank}), solange keine Abgänge vorkommen. Erste Abgänge werden bei einer Lebensdauer von 10 Jahren ab 2003 erwartet, auch umgerüstete Altanlagen werden ab 2003 erstmals entsorgt.

Der mittlere Jahres-Bestand (B_n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres (EB_{n-1}) und des laufenden Jahres (EB_n). Als Gleichung:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2} \quad \text{wobei} \quad EB_n = EB_{n-1} + In_{bank\ n}$

Der mittlere Jahresbestand (B_n) weist damit die Zeitreihe lt. Tab. 6 auf. Die Kältemittel werden nicht nach der Anlagenbauart, in der sie sich befinden, unterschieden, da keine unterschiedlichen bauartspezifischen Emissionsraten angenommen werden.

Tab. 6: Mittlerer jährlicher (H)FKW-Bestand (B_n) in stationären Anlagen der Industriekälte (einschl. umgerüsteter) seit 1995 in t						
	404A	134a	407C	23	116	227/236
1995	45	58	13	10	0	2
1996	135	141	23	15	0,3	6
1997	293	289	36	22	0,8	12
1998	540	488	53	30	1,5	19
1999	841	670	78	39	2,2	26
2000	1147	818	108	48	3,1	33
2001	1454	966	138	58	4,1	41
2002	1760	1114	168	67	5,1	48

Quellen: Neuverbräuche aus Tab. 4, umgerechnet nach obenstehender Gleichung.

9. Rate der laufenden Emissionen vom Bestand

Die laufenden (H)FKW-Emissionen aus stationären Kälteanlagen der Industriekälte werden einheitlich auf 7% jährlich geschätzt.

10. Ermittlung der laufenden Emissionsraten

Repräsentative Messungen wie in der Gewerbekälte liegen nicht vor. Auch Expertenschätzungen sind für die Industriekälte rar.

1994 hatten Vertreter der Chemischen Industrie beim Umweltbundesamt 7% auf einen Kältemittelbestand von 5000 t geschätzt.

Das FKW-Hannover nahm in den 1995 bis 1998 erschienenen Statusberichten zum FCKW-Ersatz für die Industriekälte Emissionsraten von 5,5 bis 7% an (R-12, R-502, R13, R13B1, R-11), veröffentlichte aber keinen Wert für das Hauptkältemittel R-22.

Der kältetechnische Experte von Solvay Fluor schätzte 2003 die Emissionsrate in der Industrie auf 6%

Der Experte des führenden Industriekälteausstatters Axima Refrigeration bezifferte die HFKW-Emissionen auf "eher über 7%".

Die 7% sind gewissermaßen ein Mittelwert aus diesen Expertenschätzungen.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Fachgespräch zum Thema "Umrüstung von bestehenden Kälte- und Klimaanlageanlagen" der chemischen Industrie, Umweltbundesamt Berlin, 20.09.94.

FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Ersatz von R 12 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Statusbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Hannover, November 1995, S. 96.

FKW: Ersatz von R 502 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Texte 29/97, Berlin, Juni 1997, S. 90.

FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Ersatz der FCKW R11, R13, R503, R13B1, R113, R114 und R12B1 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, Statusbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Hannover, Mai 1998.

Öko-Recherche/Solvay Fluor: Fachgespräch über Basisdaten und Verkaufsmengen für HFKW in stationären kälte- und klimatechnischen Anwendungen, Teilnehmer: Winfried Schwarz (ÖR), Christoph Meurer (Solvay) und Felix Flohr (Solvay), Hannover 26.03.03.

Axima Refrigeration GmbH, Lindau, 21.11.03.

11. Laufende HFKW-Emissionen vom Bestand

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER_{op}) an den durch Addition der jährlichen inl. (H)FKW-Neuzugänge entstandenen mittleren Bestand B_n jenes Jahres (vgl. Abschnitt 8):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei einer ER von 7% für (H)FKW-haltige neue und umgerüstete stationäre Kälteanlagen ergibt sich als Gleichung für die laufenden Emissionen:

ER_{op} (7%)	x	B_n
----------------	---	-------

Die lfd. jährlichen (H)FKW-Emissionen aus dem Bestand sind demnach (in t/a):

Tab. 7: Laufende (H)FKW-Emissionen aus dem Bestand in stationären Anlagen der Industriekälte (einschl. umgerüsteter) seit 1995 in t/a						
	404A	134a	407C	23	116	227/236
1995	3	4	1	0,7		0,1
1996	9	10	2	1,1		0,4
1997	21	20	2	1,5	0,06	0,8
1998	38	34	4	2,1	0,1	1,3
1999	58	47	5	2,7	0,2	1,8
2000	80	57	8	3	0,2	2,3
2001	102	68	10	4	0,3	2,8
2002	123	78	12	5	0,4	3

Quelle: Tab. 6 und Gleichung in diesem Abschnitt.

Kommentar

Die HFKW-Emissionen aus dem Bestand stationärer Industriekälteanlagen steigen mit dem Wachstum des mittleren Bestandes konstant an, und zwar bei den beiden Hauptkältemitteln 404A und 134a. Obwohl 2002 die Emissionen von HFKW-23 nur 5 t betrugen, ist aufgrund des spezifisch hohen GWP (11.700) dieser Emissionsposten der drittgrößte, was die Klimarelevanz betrifft. Die Summe der Emissionen in metrischen Tonnen betrug 2002 bereits 221 t. Eine Sättigung ist bei 350 t zu erwarten (7% von 5000 t Bestand).

12. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle II

Emissionsrate. Für den Bestand gibt es keine neuen Daten zu bewerten, die nicht schon in Teil I bewertet worden sind. Die Emissionsrate EF_{op} von 7%, die in Teil II eingeführt wurde, beruht auf Expertenschätzungen. Die Werte liegen allerdings nicht weit auseinander, sondern zwischen 5,5% und >7%. Der Emissionsfaktor ist daher im gegebenen Rahmen als relativ zuverlässig zu betrachten. Die Schwankungsbreite dürfte bei $\pm 1\%$ liegen.

13. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Das IPCC-Manual GPG formuliert unter "3.7.4 Stationary refrigeration sub-source category" als allgemeine Gleichung 3.42 der laufenden Emissionen im Rahmen eines Bottom-up approach:

$\text{Operating Emissions} = (\text{Amount of HFC and PFC Stock in year } t) \times (x/100)$

Dabei ist x die Emissionsrate. Als default value (best estimates) wird in Table 3.22 als Emissionsfaktor (% of initial charge/year) für "Industrial Refrigeration including Food Processing and Cold Storage" eine Größenordnung von 7 bis 25% genannt. ÖR liegt mit 7% im untersten Bereich.

14. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Average annual stocks" und "Emissions from stocks" für die diversen Kältemittel primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihen 45 bis 57, jeweils die Spalten C und I.

Anhang. Das Kältemittelmodell für die Industriekälte

Nahrungsmittel-Industrie	Anlagen	Qo kW	Qo total kW	HFC Anteil	HFC Anlagen	Qo HFC kW total	KM kg/kW	KM kg unit	KM HFC all kg
Normalkühlung (134a)									
Obst	360	231	83.160	40%	144	33.264	1	231	33.264
Gemüse	1200	690	828.000	50%	600	414.000	1	690	414.000
Molkereiprodukte	156	385	60.060	30%	47	18.018	1	385	18.018
Fisch	72	778	56.016	30%	22	16.805	1	778	16.805
Fleisch	840	208	174.720	40%	336	69.888	1	208	69.888
Backwaren	60	493	29.580	30%	18	8.874	1	493	8.874
Lagerung	1000	200	200.000	40%	400	80.000	1	200	80.000
Summe/Mittelwert	3.688	388	1.431.536	42%	1.166	640.849	1	388	640.849
Tiefkühlung (404A)									
Obst	180	210	37.800	25%	45	9.450	1,5	315	14.175
Gemüse	192	4472	858.624	25%	48	214.656	1,5	6.708	321.984
Molkereiprodukte	1017	775	788.175	30%	305	236.453	1,5	1.163	354.679
Fisch	128	1584	202.752	20%	26	40.550	1,5	2.376	60.826
Fleisch	2547	200	509.400	40%	1019	203.760	1,5	300	305.640
Backwaren	332	722	239.704	30%	100	71.911	1,5	1.083	107.867
Lagerung	1050	2500	2.625.000	20%	210	525.000	1,5	3.750	787.500
Summe/Mittelwert	5.446	966	5.261.455	32%	1.752	1.301.780	1,5	1.449	1.952.670
Gefrieren (404A)									
Obst	60	160	9.600	15%	9	1.440	2	320	2.880
Gemüse	1452	690	1.001.880	25%	363	250.470	2	1.380	500.940
Molkereiprodukte	351	1108	388.908	30%	105	116.672	2	2.216	233.345
Fisch	72	778	56.016	20%	14	11.203	2	1.556	22.406
Fleisch	672	131	88.032	40%	269	35.213	2	262	70.426
Backwaren	140	1911	267.540	30%	42	80.262	2	3.822	160.524
Summe/Mittelwert	2.747	660	1.811.976	29%	803	495.260	2	1.319	990.521
Brauereien									
Normalkühlung 134a	1283	177	227.091	5%	64	11.355	1	177	11.355
Fruchtsafthersteller									
Saft-Normalk. 134a	450	24,5	11.025	50%	225	5.513	1	25	5.513
Schlachthöfe									
Normalkühlung 134a	228	113,7	25.924	25%	57	6.481	1	114	6.481
Tiefkühlung 404A	228	11,5	2.622	25%	57	656	1,5	17	983
Abkühlräume (NK) 134a	228	31,2	7.114	25%	57	1.778	1,5	47	2.668
Gefrierräume (TK) 404A	228	7,2	1.642	25%	57	410	2	14	821
Verarb.räume (NK) 134a	228	48,3	11.012	25%	57	2.753	1	48	2.753
Summe/Mittelwert	1140	42	48.313	25%	285	12.087	1,13	48	13.706
	Anlagen	Qo kW	Qo total kW	HFC Anteil	HFC Anlagen	Qo HFC kW total	KM kg/kW	KM kg unit	KM HFC all kg
Kühlhäuser									
NK-Kühlräume 134a	519	121	62.799	15%	78	9.420	1	121	9.420
TK-Räume 404A	519	683	354.477	15%	78	53.172	1,5	1.025	79.757
Gefrieranl. (TK) 404A	260	510	132.600	15%	39	19.890	2	1.020	39.780
Summe/Mittelwert	1.298	424	549.876	15%	195	82.481	1,56	662	128.957
Zwischensumme	16.052	582	9.341.272	30%	4.890	2.549.316	1,47	855	3.743.570

Nahrungsmittel-Industrie	Anlagen	Qo kW	Qo total kW	HFC Anteil	HFC Anlagen	Qo HFC kW total	KM kg/kW	KM kg unit	KM HFC all kg
Sonstige Industrie									
Industrie-Turbos									
Chem. Ind. (134a)	500	1500	750.000	100%	500	750.000	0,4	600	300.000
Autoindustrie (134a)	300	1500	450.000	100%	300	450.000	0,4	600	180.000
Kernkraftwerke (134a)	30	1500	45.000	100%	30	45.000	0,4	600	18.000
Sonstige Ind. (134a)	170	1500	255.000	100%	170	255.000	0,4	600	102.000
Summe	1.000	6.000	1.500.000		1.000	1.500.000	0,4	2.400	600.000
Kranklima (227,236)									
Schwerind./Häfen	1000	5	5.000	100%	1000	5.000	0,5	2,5	2.500
Verarbeitende Ind.									
Flüssigkühlsätze									
mit 134a f. R12									200.000
407C f. R 22-Ersatz									300.000
									500.000
Tief-T-Anlagen (23)									
Umweltsimulation u. Gefriertrocknung (23)	500			100%	500			10	5.000
Chemieindustrie									
Tief-T (+Turbos) 23,116 bish. R13, 503,13B1	100			100%	100			1000	100.000
Weitere Anwend.									
Hochtemp. WP (227) bish. R114,R12B1	100			100%	100			700	70.000
Zwischens.Sonstige									1.277.500
Summe Industrie									5.021.070

Erläuterung. In der Nahrungsmittelindustrie (obere Hälfte) wird außer der Anlagenzahl pro Anwendung (Sp. 2) in Sp. 3 auch die installierte Kälteleistung "Qo kW" pro Anlage angegeben. Sp. 4 (Qo total kW) zeigt die pro Anwendung installierte Kälteleistung (Sp. 2 x Sp. 3). Diese ist Kältemittel-unabhängig angegeben. In Sp. 5 "HFC-Anteil" wird der Anteil und in Sp. 6 "HFC Anlagen" die Anzahl von HFKW-Anlagen an der Anlagenzahl (Sp. 2) abgeschätzt. Die nächste Spalte enthält unter "Qo HFC kW total" die gesamte Kälteleistung, aber nur für HFKW-Anlagen. Unter "KM kg/kW" wird die spezifische Füllmenge Kältemittel pro kW eingetragen. Daraus ergibt sich unter "KM kg unit" die Kältemittelmenge pro Anlage. Die letzte Spalte rechts enthält die gesamte Kältemittelmenge pro Anwendung durch Multiplikation der Anlagenzahl mit der für sie ermittelten Füllmenge. Aus Platzgründen ist die Aufteilung in Kältemitteltypen in der ersten Spalte links enthalten. In der "sonstigen Industrie" ist eine vergleichbar detaillierte Gliederung nicht erhältlich.

F-Gas-Blatt 8 Gewerbekälte

F-Gase	HFKW-134a, HFKW 404A, HFKW 407C, HFKW-23, HFKW-125, HFKW-152a, FKW-116, FKW-218
Anwendung	Stationäre Gewerbekälte
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand

Hintergrund

Die Gewerbekälte bildet die größte und zugleich heterogenste Anwendung von HFKW. Die Vielfalt der Kälteanlagen nach Bauart, Größe, Kältemitteltyp und Emissionsdichtheit ist Ausdruck davon, dass serienmäßig produzierte Geräte mit definierten Leistungs- und Kältemitteldaten weniger vorkommen als individuell angepasste Lösungen. Dies ist etwas weniger der Fall im Teilbereich des allg. Lebensmittelhandels, wo große Ladenausstatter die Anlagenvielfalt zu begrenzen suchen. Dieser Sektor, in dem auch die Anzahl von Betreiberunternehmen überschaubar ist, ist der Datenschätzung nicht so schwer zugänglich.

Anders die sonstige Gewerbekälte, zu der die große Zahl weiterer stationärer Kältemittelanlagen außerhalb der industriellen Fertigung zählt, die in der Mehrzahl kundenspezifisch konzipiert und vor Ort montiert werden. Die sonstige Gewerbekälte wurde in ihrer inneren Struktur erst in jüngerer Zeit näher betrachtet (DKV 2002) und ist noch ganz von Expertenschätzungen abhängig. Das liegt auch daran, dass sie das Haupteinsatzgebiet der ihrerseits gewerblich/handwerklich arbeitenden Kältefachbetriebe ist, deren Zahl über 2000 beträgt. Über diese Betriebe ist eine tiefgestaffelte statistische Erfassung von Kältemittel-Beständen wie –Emissionen zwar grundsätzlich möglich, aber noch nicht installiert und auch nicht praktiziert worden, von Teilbefragungen (R-12-Ersatz) abgesehen.

Der wichtigste HFKW für stationäre Kälteanlagen ist heute die Mischung R-404A, die den Reinstoff HFKW-134a an Bedeutung überholt hat. Auch die Mischung 407C spielt eine Rolle sowie - in der Tiefsttemperatur - HFKW-23 und FKW-116, die beide zusammen die Mischungen 508 A/B bilden.

.

Eine Reihe anderer HFKW und auch ein FKW haben nur vorübergehende Bedeutung als Servicekältemittel in Altanlagen, solange der Ausstieg aus chlorhaltigen Kältemitteln noch nicht ganz vollendet ist.

I. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

1. Aktivitätsdaten. Der jährliche HFKW-Verbrauch im Inland

Da Außenhandel mit vor Ort errichteten Kälteanlagen vernachlässigbar ist, ist der jährliche HFKW-Verbrauch für Neuanlagen gleich dem HFKW-Zugang in Neuanlagen ($C_{\text{manu}} = I_{\text{n bank}}$). Diese Übereinstimmung erleichtert die Ermittlung des inländischen HFKW-Neuverbrauchs keineswegs, da so gut wie keine direkten Daten vorliegen. Die im Inland vertretenen Kältemittelhersteller kennen zwar ihre jährlichen Verkäufe und haben Vorstellungen von den Haupteinsatzgebieten. Ihre Schätzungen sind für Kontrollzwecke nützlich. Sie reichen aber nicht aus, wenn es um Fragen derart geht, wie viel der jährlich neu verkauften Kältemittel in Neuanlagen gelangen, und zwar in Anlagen mit niedriger, mittlerer oder hoher Emissionsrate, und wie viel für den Emissionsersatz gebraucht wird. Daher ist das Kältemittelmodell zur Ermittlung des jährlichen Neuverbrauchs komplizierter als in den anderen Fällen.

Exkurs zur Methode: Das mehrstufige Kältemittelmodell für die Gewerbekälte

Der besondere Ansatz, der praktiziert wird, solange keine direkten statistischen Kältemitteldaten vorliegen, besteht vor allem darin, den jährlichen inländischen Bestand nicht über die jährlichen Zugänge bzw. Neuverbräuche zu ermitteln, sondern umgekehrt:

Zuerst wird der detaillierte Kältemittel-Bestand für den (noch nicht erreichten) Zielzustand abgeschätzt, wenn sämtliche bestehenden Kälteanlagen keine chlorhaltigen Kältemittel mehr enthalten, sondern nur noch HFKW. Der "Zielbestand" wird vom Umfang her auf mittlere Frist als stabil angenommen, was im Gegensatz zu den sich dynamisch entwickelnden mobilen Anlagen durchaus der Realität angemessen ist.

Zweitens. Aus dem Zielbestand lässt sich über die mittlere Anlagen-Lebensdauer berechnen, wie viel Kältemittel jährlich in Neuanlagen gefüllt werden muss, um den Bestand aufgrund ausscheidender Altanlagen zu erhalten. Bei der Lebensdauer 10 Jahre beträgt der Gleichgewichts-Neuzugang ($I_{\text{n bank}}$) ein Zehntel des Bestands.

Es ist klar, dass auf diese Weise empirische Marktschwankungen nicht zur Geltung kommen, sondern quasi ihre langfristigen Mittelwerte. Und auch diese sind nur so verlässlich, wie das Bestandsmodell selber die Realität abbildet.

Drittens. Die jährlichen HFKW-Zugänge während der neunziger Jahre sind auf diese Weise allein noch nicht erfasst. Wie bekannt, haben HFKW chlorhaltige Kältemittel nicht zu einem bestimmten Stichtag bei neuen Anlagen abgelöst. Seit etwa 1993 wurden neue Kälteanlagen über Jahre noch parallel mit beiden Kältemittelarten befüllt. Benötigt wird der - jährlich wachsende - HFKW-Anteil am bisher errechneten Neuanlagen-Zugang. Diese Anteile liegen für die wichtigsten Kältemittel wie 404A und 134a relativ verlässlich aus Befragungen von Kältemittelherstellern vor.

Wegen der Unterschiedlichkeit der beiden Hauptsektoren der Gewerbekälte wird der erste Sektor, der allgemeine Lebensmittelhandel, getrennt vom zweiten Sektor, der sonstigen Gewerbekälte, behandelt. Zunächst erfolgt die mehrstufige Ermittlung des Jahreszugangs für den allgemeinen Lebensmittelhandel.

1.1 Der jährliche HFKW-Neuverbrauch im allgemeinen Lebensmittelhandel

1.1.1 Das Modell für den Kältemittelbestand im Lebensmittelhandel 2002/2004

Tab. 1: Anzahl der Kälteanlagen im Lebensmittelhandel nach Tief- und Normalkühlung, installierter Kälteleistung (Qo in kW) und Kältemittel nach Ladenform										
		Tiefkühlung		Normalkühlung		TK	NK	Summe	404A	134a
Ladenform/ Anlagen	Anzahl	Qo kW	kg KM/kW	Qo kW	kg KM/kW	t KM	t KM	KM in t	80%	20%
Einzelhandel										
SB-Warenhaus										
Zentralanlagen	681	56	2,5	215	1,8	95,3	263,5	358,9	287,1	71,8
Verbrauchermarkt										
Zentralanlagen	1682	32	2,5	85	1,8	134,6	257,3	391,9	313,5	78,4
Supermarkt groß										
Zentralanlagen	4615	9	2,5	35	1,8	103,8	290,7	394,6	315,7	78,9
Kühlregal	137010			0,6	0,67		54,8	54,8	43,8	11,0
TK-Insel	13701	4	1			54,8		54,8	43,8	11,0
Supermarkt klein										
Zentralanlagen	4615	3	2,5	30	1,8	34,6	249,2	283,8	227,1	56,8
Kühlregal	91340			0,6	0,67		36,5	36,5	29,2	7,3
TK-Insel	9134	4	0,5			18,3		18,3	14,6	3,7
SB-Laden	45900									
Zentralanlagen	8779	3	2,5	13	1,8	65,8	205,4	271,3	217,0	54,3
Theken	105362			0,2	1		21,1	21,1	16,9	4,2
Kühlregal	53715			1,2	0,67		43,0	43,0	34,4	8,6
TK-Insel	53715	0,6	0,67			21,5		21,5	17,2	4,3
TK-Schrank	26857	0,72	0,69			13,4		13,4	10,7	2,7
Kühlräume	19180			8	0,5		76,7	76,7	61,4	15,3
TK-Räume	19180	3	1			57,5		57,5	46,0	11,5
Discounter										
Zentralanlagen	13135	3	2,5	30	1,8	98,5	709,3	807,8	646,2	161,6
Kühlregal	183890			0,6	0,67		73,6	73,6	58,8	14,7
TK-Insel	13135	4	0,5			26,3		26,3	21,0	5,3
Großhandel										
Cash&Carry-Mkte										
Zentralanlagen	600	100	2,5	300	1,8	150,0	324,0	474,0	379,2	94,8
Kl. Kühlhäuser										
Zentralanlagen	750	80	2,5	60	1,8	150,0	81,0	231,0	184,8	46,2
Zwischensumme	806976							3710,7	2968,6	742,1
Bottom-up-Zuschl	10% auf alles							371,1	296,9	74,2
Zentralanlagen	768673							321,3	257,1	64,3
Verflüssigungssätze	119001							49,7	39,8	9,9
Summe	887674							4081,8	3265,4	816,4

Erläuterungen: Für jede Ladenform sind die zugehörigen Anlagen in Spalte 1 aufgelistet, deren Anzahl (Inland) in der zweiten Spalte. Unter "Tiefkühlung" und "Normalkühlung" ist jeweils links die installierte Kälteleistung (Qo) in kW und rechts die spezifische Kältemittelmenge in "kg pro installiertes kW" eingetragen. Das Produkt aus "Anzahl" x "Qo (kW)" x "kg/kW" ergibt die Kältemittelmenge in t, und zwar für Tiefkühlung (TK) und Normalkühlung (NK). Die dritte Spalte von rechts addiert beide Beträge zur gesamten Kältemittelmenge der betreffenden Zeile (Anlagen). Diese Summe wird nach einem pauschalen Schlüssel von 80 zu 20 zwischen den beiden Kältemitteln "404A" und "134a" in den zwei rechten Spalten aufgeteilt.

1.1.2 Kältemittelbestand und rechnerischer HFKW-Verbrauch im Gleichgewicht

Aus dem in Tab. 1 dargestellten Modell ergeben sich Gesamtwerte für Zielbestand und rechnerischen Jahresverbrauch, getrennt nach den beiden Kältemitteln 404A und 134a. Für die Emissionsermittlung ist vor allem relevant, ob die Kältemittel in Zentralanlagen mit verzweigtem Rohrleitungssystem gelangen, deren Emissionen relativ hoch sind, oder in weniger emissive Verflüssigungssätze mit kurzer Strecke ortsverlegter Leitungen, wie sie für Regale, Inseln, Theken typisch sind.

Tab. 2 enthält Gleichgewichts- bzw. Zielbestand nach Kältemitteln und Anlagenart.

Tab. 2: Zielbestand 404A und 134a in t nach Anlagenart im allg. Lebensmittelhandel			
	404A	134a	Kältemittel gesamt
Zentralanlagen	2827,7	706,9	3534,6
Verflüssigungssätze	437,8	109,4	547,2
Summe	3265,4	816,4	4081,8

Quelle: Tab. 1

Tab. 3 enthält den rechnerischen jährlichen HFKW-Neuverbrauch im Gleichgewicht bei einer allgemeinen Anlagenlebensdauer von zehn Jahren (jeweils 1/10 v. Tab 2).

Tab. 3: Rechnerischer jährlicher Neuverbrauch von 404A und 134a nach Anlagenart im allg. Lebensmittelhandel in t/a			
	404A	134a	Kältemittel gesamt
Zentralanlagen	282,8	70,7	353,5
Verflüssigungssätze	43,8	10,9	54,7
Summe	326,6	81,6	408,2

Quelle: Tab. 2

1.1.3 Anteile von HFKW an Kältemitteln für Neuanlagen 1993-1998

HFKW wurden ab 1993 in Neuanlagen gefüllt. Der gegenüber (H)FCKW stetig steigende Anteil hatte 100% im Falle von HFKW-134a im Jahr 1997 und im Falle von HFKW-404A im Jahr 1998 erreicht.

Tab. 4: Anteile von HFKW an Kältemitteln für Neuanlagen 1993-1998						
	1993	1994	1995	1996	1997	1998
HFKW-134a	7%	25%	50%	75%	100%	100%
HFKW 404A	1%	10%	33%	66%	85%	100%

Quellen siehe Abschn. 3.

1.1.4 Der jährliche Neuverbrauch von HFKW-Kältemitteln seit 1993

Der zwischen 1993 und 1997 erfolgte jährliche Neuverbrauch von HFKW 134a und 404A in Zentralanlagen und Verflüssigungssätzen im allgemeinen Lebensmittelhandel ergibt sich, indem die Gleichgewichtswerte laut Tab. 3, die als solche direkt ab 1998 gelten, für 1993 bis 1997 mit den entsprechenden Anteilen lt. Tab. 4 gewichtet werden. Die so zustande gekommenen jährlichen HFKW-Verbräuche sind in Tab. 5 eingetragen.

Tab. 5: Berechneter jährlicher Verbrauch von HFKW-134a und -404A für Neuanlagen des allg. Lebensmittelhandels nach Anlagenbauart 1993-2002 in t/a										
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
HFKW-134a										
Zentralanlagen	4,9	17,7	35,3	53,0	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7
Verflüss-Sätze	0,8	2,7	5,5	8,2	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9
HFKW 404A										
Zentralanlagen	2,8	28,3	93,3	186,6	240,4	282,8	282,8	282,8	282,8	282,8
Verflüss-Sätze	0,4	4,4	14,4	28,9	37,2	43,8	43,8	43,8	43,8	43,8

1.2 Der jährliche (H)FKW-Neuverbrauch in der sonstigen Gewerbekälte

1.2.1 Das Modell für den Kältemittelbestand in der sonstigen Gewerbekälte

Das detaillierte Modell der sonstigen Gewerbekälte ist derart umfangreich, dass es nicht hier präsentiert wird, sondern als Anhang zu diesem F-Gas-Blatt. Es wird hier gleich mit den daraus abgeleiteten Resultaten fortgefahren.

1.2.2 Kältemittelbestand und rechnerischer (H)FKW-Verbrauch im Gleichgewicht

Aus dem im Anhang dargestellten Modell ergeben sich Gesamtwerte für Zielbestand und rechnerischen Jahresverbrauch, getrennt nach den HFKW-Kältemitteln 404A, 134a, 407C, 23 und dem FKW 116 (neben 23 Bestandteil im Tieftemperatur-Blend 508A/B). Für die Emissionsermittlung ist relevant, ob die Kältemittel in steckerfertige Einzelgeräte (Schränke, Truhen) oder in ortsmontierte Anlagen gelangen.

Tab. 6 enthält Gleichgewichts- bzw. Zielbestand nach Kältemitteln und Anlagenart.

Tab. 6: Kältemittel-Zielbestand in t nach Anlagenart in der sonstigen Gewerbekälte					
	404A	134a	407C	23	116
Einzelgeräte	241	473	n. e.	144*	n. e.
Ortsmontiert	3207	1692	494	n. e.	35
Summe	3448	2165	494	144	35

Quelle: Tabelle im Anhang dieses Blatts. n. e. = nicht ermittelt.

* Ein großer Teil von R-23 befindet sich zusammen mit R-116 in ortsmontierten Anlagen.

Tab. 7 zeigt den rechnerischen jährlichen HFKW/FKW-Neuverbrauch im Gleichgewicht bei einer allgemeinen Anlagenlebensdauer von zehn Jahren.

Tab. 7: Rechnerischer Neuverbrauch von HFKW/FKW in t/a nach Anlagenart in der sonstigen Gewerbekälte (Gleichgewicht)					
	404A	134a	407C	23	116
Einzelgeräte	24,1	47,3	n. e.	14,4*	n. e.
Ortsmontiert	320,7	169,2	49,4	n. e.	3,5
Summe	344,8	216,5	49,4	14,4	3,5

Quelle: Tabelle 6. n. e. = nicht ermittelt. * tw. zusammen mit R-23 in ortsmontierten Anlagen.

1.2.3 Anteile von HFKW/FKW an Kältemitteln für Neuanlagen 1993-2003

HFKW/FKW wurden in Neuanlagen ab 1993 gefüllt. Der Anteil gegenüber HFCKW/FCKW stieg unterschiedlich schnell an. Er hatte die 100% im Falle 134a im Jahr 1997 und im Falle 404A in 1998 erreicht. HFKW-23 (seit 1993 im Einsatz) und FKW-116 (seit 1996) erreichten die 100%-Quote im Jahr 1999. Dagegen brauchte 407C, das ab 1997 nennenswert eingesetzt wurde, für die volle Quote bis 2003.

Tab. 8a: Anteile von HFKW/FKW an Kältemitteln für Neuanlagen 1993-1999							
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
HFKW-134a	7%	25%	50%	75%	100%	100%	100%
HFKW 404A	1%	10%	33%	66%	85%	100%	100%
HFKW-23	7%	7%	7%	14%	14%	21%	100%
FKW-116			0%	29%	57%	57%	100%

Quellen siehe Abschn. 3. Die ersten beiden Zeilen decken sich mit Tab. 4.

Tab. 8b: Anteile von HFKW-407C an Kältemitteln für Neuanlagen 1997-2003							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
HFKW 407C	6%	14%	30%	51%	69%	89%	100%

Quellen siehe Abschn. 3.

1.2.4 Jährlicher (H)FKW-Neuverbrauch in der sonst. Gewerbekälte seit 1993

Der zwischen 1993 und 2002 erfolgte jährliche Verbrauch von HFKW- und FKW-Kältemitteln für neue Einzelgeräte und ortsmontierte Neuanlagen in der sonstigen Gewerbekälte ergibt sich, indem die Gleichgewichtswerte laut Tab. 7 für die Jahre, in denen sie noch in Konkurrenz mit chlorhaltigen Kältemitteln standen, mit den entsprechenden Anteilen lt. Tab. 8a/8b gewichtet werden. Der so zustande gekommene jährliche HFKW/FKW-Neuverbrauch ist in Tab. 9 dargestellt.

Tab. 9: Berechneter jährlicher Verbrauch von HFKW und FKW für Neuanlagen der sonstigen Gewerbekälte nach Anlagenbauart 1993-2002 in t/a							
Kältem.	134a		404A		407C	23	116
Bauart	Einzelger.	Ortsmont.	Einzelger.	Ortsmont.	Ortsmont.	Einzelger.	Ortsmont.
1993	3	12	0,2	3		1	
1994	12	42	2,4	32		1	
1995	24	85	8	106		1	
1996	35	127	16	212		2	1
1997	47	169	21	273	3	2	2
1998	47	169	24	321	7	3	2
1999	47	169	24	321	15	14,4	3,5
2000	47	169	24	321	25	14,4	3,5
2001	47	169	24	321	34	14,4	3,5
2002	47	169	24	321	44	14,4	3,5

Quellen: Berechnet aus Tabelle 7 und Tabellen 8a/8b.

1.3 (H)FKW-Neuverbrauch für Altanlagen in der Gewerbekälte 1993-2002

Seit 1995 (teilweise auch schon seit 1993) wurde gemäß FCKW-Halon-Verbots-Verordnung eine beträchtliche Zahl bestehender Anlagen mit FCKW-12 oder R-502 (HFCKW-22/FCKW-115) auf HFKW- und FKW-haltige Ersatzkältemittel umgestellt. Der wichtigste Ersatzstoff für R-12 war HFKW-134a, der meistens pur, zum Teil auch als

Komponente im Drop-in-Kältemittel R-413 A zum Einsatz kam. Der wichtigste Ersatzstoff für R-502 war HFKW-125, der vor allem in den Mischungen 402 A/B und Isceon 89 enthalten ist. HFKW-152a ist zu 13% in der Mischung 401A enthalten, die zum R-12-Ersatz in Altanlagen diente. Schließlich ist noch der FKW-218 erwähnenswert, der nur als Beimischung vorkommt: in 403 A/B (Isceon 69), 413 A (Isceon 49) und in Isceon 89.

Die jährlichen Verkaufszahlen für diese Servicekältemittel sind durch Befragung der Hersteller und Spezialstudien relativ gut bekannt. Die fünf wichtigsten HFKW/FKW werden nachstehend in Tab. 10 nach ihrem Neuverbrauch aufgeführt, wobei nicht zwischen allg. Lebensmittelhandel und sonstiger Gewerbekälte unterschieden wird.

Tab. 10: Neuverbrauch von HFKW und FKW als Ersatzstoffe für FCKW-12 und R-502 in den Jahren 1993 bis 2002 in der gesamten Gewerbekälte (t/a)					
(H)FKW	134a	404A	125	152a	218
1993			6		1
1994			54		3
1995	60	10	84	6,5	8
1996	140	20	84	13	12
1997	200	40	84	39	14
1998	200	30	69	26	19
1999	100	20	31	13	8
2000			6	5	5
2001			0,9		5
2002			0,9		3

Quellen: Siehe Abschnitt 3.

1.4 Gesamter (H)FKW-Verbrauch für Alt- und Neuanlagen in der Gewerbekälte

Aus dem (H)FKW-Verbrauch für die seit 1993 neuinstallierten Kälteanlagen (Tab. 5, Tab. 9) sowie dem Neuverbrauch für den FCKW-Ersatz in Altanlagen (Tab. 10) ergibt sich der gesamte (H)FKW-Verbrauch für stationäre Kälteanlagen 1993-2002.

Tab. 11: Gesamter (H)FKW-Neuverbrauch für alte und neue stationäre Kälteanlagen in der Gewerbekälte 1993-2002 in t/a								
(H)FKW	134a	404A	407C	23	116	125	152a	218
1993	21	7		1		6		1
1994	75	67		1		54		3
1995	209	232		1		84	6,5	8
1996	364	463		2	1	84	13	12
1997	498	611	3	2	2	84	39	14
1998	498	701	7	3	2	69	26	19
1999	398	691	15	14,4	3,5	31	13	8
2000	298	671	25	14,4	3,5	6	5	5
2001	298	671	34	14,4	3,5	0,9		5
2002	298	671	44	14,4	3,5	0,9		3

Quellen: Berechnet aus Tab. 5, Tab. 9 und Tab. 10. Fett: sowohl für Alt- als auch Neuanlagen.

Kommentar zum jährlichen Neuverbrauch in der gesamten Gewerbekälte

In den Jahren 1993 und 1994 dominierte 134a, der seit 1995 in der Bedeutung von 404A (incl. 507) übertroffen wird. Hintergrund ist, dass die alte Kältemittel-Dreiteilung, nämlich je ein Kältemittel für Normal- (R 12), Tief- (R-22) und sehr tiefe Kühlung (R-502) keinen Bestand hatte. In vielen Fällen wollten die Anwender nur 404A als einziges Kältemittel für die ganze Temperaturskala - auch in der Normalkühlung, für die der HFKW-134a ursprünglich vorgesehen war. Recht hoch ist der Neuverbrauch des HFKW-125 zwischen 1994 und 1999. Dies geht in erster Line auf umfangreichen Ersatz von R-502 durch 402 A/B und Isceon 89 in Altanlagen zurück. Die entsprechenden Neuanlagen enthalten 404A.

Die Daten zu den HFKW für Neuanlagen gehen auf die beiden zugrundeliegenden Modelle für die Gewerbekälte zurück und sind nur so solide, wie die Modelle selbst. Sie lassen sich über Verkaufsdaten der Hersteller nur bedingt kontrollieren. So schlägt sich etwa der Rückgang von HFKW-134a und die Stagnation von 404A seit 1999 nicht unbedingt in niedrigeren Verkaufszahlen nieder. Denn die Verkäufe umfassen zunehmend außerdem die (hier nicht registrierten) Mengen für den Emissionsersatz.

2. Emissionen bei der Neubefüllung alter und neuer Kälteanlagen

Die Befüllemissionen sind bei kältetechnischen Anlagen im Allgemeinen gering. Das CRF verlangt ihre Ermittlung ab 1995.

2.1 Emissionsfaktor der Befüllung

Generell wird ein Emissionsfaktor (EF_{manu}) von 0,2% auf die jährlich eingefüllte (H)FKW-Menge angewendet.

Plausibilität. Dem EF_{manu} liegt die mehrfach bestätigte Erfahrung zugrunde, dass pro Befüllvorgang etwa eine Schlauchfüllung mit 5 bis 10 Gramm (Schlauchlänge 1 Meter) entweicht. Grob geschätzt gibt es ca. 3 Mio. Anlagen im Bestand mit ca. 10.000 t Inhalt. Die mittlere Füllmenge ist daher ca. 3,3 kg, und 5-10 g pro 3300 g sind 0,15 bis 0,3%.

2.2 Fertigungsemissionen in der gesamten Gewerbekälte

Tab. 12: (H)FKW-Befüllverluste bei alten und neuen stationärer Kälteanlagen in der Gewerbekälte 1995-2002 in t/a ($EF_{\text{manu}} = 0,2\%$)								
(H)FKW	134a	404A	407C	23	116	125	152a	218
1995	0,418	0,464		0,002		0,168	0,013	0,016
1996	0,728	0,926		0,004	0,002	0,168	0,026	0,024
1997	0,996	1,222	0,006	0,004	0,004	0,168	0,078	0,028
1998	0,996	1,402	0,014	0,006	0,004	0,138	0,052	0,038
1999	0,796	1,382	0,030	0,029	0,007	0,062	0,026	0,016
2000	0,056	1,343	0,050	0,029	0,007	0,012	0,010	0,004
2001	0,056	1,343	0,068	0,029	0,007	0,002		0,004
2002	0,056	1,343	0,088	0,029	0,007	0,002		0,006

Quellen: Berechnet aus Tab. 11. Die Verbrauchswerte dort wurden mit 0,2% multipliziert.

Kommentar

Tabelle 12 zeigt: Die absoluten Fertigungsemissionen bewegen sich mit Ausnahme der Hauptkältemittel HFKW-134a und HFKW 404A nur im Kilogramm-Bereich. Die Befüllverluste von 404A liegen seit 1997 über 1 t/a, die von 134a kamen 1997/98 nahe an 1 t/a heran und bewegen sich seitdem etwas oberhalb 0,5 t/a.

3. Ermittlung und Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

Mangels direkter statistischer Erhebungen des jährlichen Kältemittelverbrauchs für die Gewerbekälte muss der jährliche Neuverbrauch indirekt über mehrere Determinanten ermittelt werden, die in zwei Modellen zusammengefasst sind. Von entscheidender Bedeutung ist die innere Struktur der beiden Kältemittel-Bestände im "Zielzustand". Es gilt, zunächst für jede Einzelanwendung sowohl die Zahl der Anlagen und deren Bauart als auch die jeweils typischen bzw. durchschnittlichen Kälteleistungen zu eruieren.

Für das Modell des allg. Lebensmittelhandels ("Supermarktbereich") boten die vom FKW-Hannover im Rahmen des DKV-Statusberichts "Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte" in 2002 vorgelegten Daten eine hervorragende Basis, ebenso wie für das Modell der "sonstigen Gewerbekälte" die entsprechenden Daten des ILK Dresden in der gleichen Studie. Der nächste Schritt war, aus Kälteleistungen in kW die zugehörigen Kältemittel-Füllungen in kg zu ermitteln. Dafür wurde zusammen mit den kältetechnischen Experten der Solvay Fluor & Derivate GmbH, Meurer und Flohr, im Jahr 2003 eine Vielzahl von anwendungsspezifischen Kennziffern "kg KM/kW" erarbeitet (teilweise unter Heranziehung externer Experten und von Fachliteratur), so dass für beide Modelle die Kältemittelmengen nach Anwendungen zustande kamen.

Außerdem wurden Abschätzungen für die Aufteilung der Kältemitteltypen gemacht, die auf Solvay-internen Verkaufsstatistiken gründeten. Im Zuge dieser Arbeiten wurden auch einige Ausgangsdaten der Publikation des FKW und des ILK überprüft, ggfls. angepasst und um einige fehlende Sektoren ergänzt, die durch frühere Studien von Öko-Recherche und auch des FKW selbst bekannt waren (darunter als größte Posten Großhandel mit Lebensmitteln, Milchkühlung und Obstkühlung in der Landwirtschaft und Bottom-up-Zuschläge für noch nicht Gefundenes).

Ältere von Öko-Recherche vorgelegte Modelle sind dadurch aktualisiert worden, ebenso die meisten Daten, die in den diversen Statusberichten zum FCKW-Ersatz durch das FKW im Auftrag des Umweltbundesamts enthalten sind.

Die Verbrauchsmengen von Servicekältemitteln in den neunziger Jahren wurden ebenso wie die von 1993 bis 2002 sich entwickelnden HFKW-Anteile für Neuanlagen in direkten Gesprächen mit den in Deutschland vertretenen Kältemittel-Herstellern abgeschätzt. Diese halfen auch, die zwei Modelle selber zu kontrollieren und zu korrigieren, was die aus ihnen ableitbaren jährlichen Neuverbräuche und ihre Gliederung in Kältemitteltypen betrifft.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Fachgespräch zum Thema "Umrüstung von bestehenden Kälte- und Klimaanlage in

- Gewerbe und Industrie" mit dem Kältehandwerk (BIV und VDKF) und der Transfrigoroute, Umweltbundesamt Berlin, 08.05.95.
- FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Ersatz von R 12 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Statusbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Hannover, November 1995.
- FKW: Ersatz von R 502 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Texte 29/97, Berlin, Juni 1997.
- Linde; Linde Refrigeration Engineering Phasing out CFCs and HCFCs in the food trade; Linde AG, 1997.
- Steinborn, Dieter, Deutsche Kältebranche – vielfältige Einsatzgebiete bringen einen Umsatz von 17 Mrd. DM, in: Ki Luft und Kältetechnik 2/1998, 59-62.
- FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Ersatz der FCKW R11, R13, R503, R13B1, R113, R114 und R12B1 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, Statusbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Hannover, Mai 1998.
- Öko-Recherche: R-12-Ersatz bei Altanlagen von 1996 bis Mitte 1998. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, August 1998.
<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/vollR12.pdf>.
- Winfried Schwarz, HFKW-Emissionen aus Kälte- und stationären Klimaanlage. Aus einer neuen Studie des Umweltbundesamts zu Minderungspotentialen fluorierter Treibhausgase in Deutschland, in: DIE KÄLTE & Klimatechnik 4/2000, S. 16.
- DKV, Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte, Statusbericht des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins Nr. 22, Juni 2002.
- EHI, Handel aktuell 2001 – Struktur, Kennzahlen und Profile aus dem deutschen und internationalen Handel, Euro-Handelsinstitut, Köln, 2002.
- BKT Bonnet Kältetechnik GmbH, Mannheim, Fachgespräch über Kühlanlagen des allgemeinen Lebensmittelhandels, Weinheim, 08.08.02.
- DuPont Deutschland GmbH, Bad Homburg, Fachgespräch mit Umweltbundesamt und Öko-Recherche, Bad Homburg, 04.11. 02.
- Öko-Recherche/Solvay Fluor: Fachgespräch über Basisdaten und Verkaufsmengen für HFKW in stationären kälte- und klimatechnischen Anwendungen, Teilnehmer: Winfried Schwarz (ÖR), Christoph Meurer (Solvay) und Felix Flohr (Solvay), Hannover 26.03.03.
- Linde AG, Geschäftsbereich Linde Kältetechnik, Köln, Fachgespräch im Umweltbundesamt, Berlin, 25.06.03.
- Kältemittel-Hersteller. Direkte Befragung 1999 und 2003 zu Verkaufsmengen und Perspektiven chlorfreier Kältemittel für Anwendung in der stationären Kälte- und Klimatechnik:
- Rhodia Limited, Bristol, UK 18.02. 99 u. 10.10.03.
 - Deutsche ICI GmbH bzw. Ineos Fluor International Ltd., Frankfurt, 16.03.99 u. 10.10.03.
 - Du Pont Deutschland GmbH, Bad Homburg, 17.02.99 u. 10.10.03.
 - Elf Atochem bzw. ATOFINA Deutschland GmbH, Düsseldorf, 12.04.99 u. 10.10.03.
 - Westfalen AG, Münster, 24.02.99 u. 10.10.03.
 - Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover, 16.03.99 u. 10.10.03.
- ILK Dresden/FKW Hannover, Aktuelle TEWI-Betrachtung von Kälteanlagen mit HFKW- und PFKW-Kältemitteln unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Rahmenbedingungen für verschiedene Anwendungsgebiete, im Auftrag des Forschungsrats Kältetechnik e.V., FKT 96/03, Frankfurt, November 2003.

4. Ermittlung und Informationsquelle für den Befüll-Emissionsfaktor

Der Emissionsfaktor EF_{manu} (0,2%) gründet auf Ermittlungen von Öko-Recherche.

5. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Der Kältemittelbestand im "Zielzustand", gegliedert nach zahlreichen Anwendungen und Anlagenbauarten, ist die Ausgangsbedingung aller anderen Aktivitätsdaten. Die Zahl der Anlagenbetreiber ist durch amtliche und andere Statistiken auf dem Stand von 2002/2003 fundiert, deren typische kältetechnische Ausstattung ist durch Experten geschätzt worden, die auch direkte Befragungen von Anlagenlieferanten und Anwendern durchführten. Der kritischste Punkt ist der nächste Schritt, nämlich die durchschnittliche Kältemittelfüllung in kg pro kW Kälteleistung. In diesem Fall mussten Daumenregeln von Experten zu Hilfe genommen werden. (Die in einer neueren Studie im Auftrag des Forschungsrats Kältetechnik im November 2003 veröffentlichten Kennziffern in kg/kW decken sich mit den hier verwendeten nur bei Supermarktkälteanlagen, nicht bei der sonstigen Gewerbekälte. Sie wurden nicht zu einer Aktualisierung herangezogen.) Weitere Schritte bis zur Fertigstellung der Modelle sind Aufteilung nach Kältemitteltypen und Lebensdauer der Anlagen. Erst ab diesem Punkt leiten sich für Neuanlagen die jährlichen Modell-Verbräuche ab.

Das Fehlerrisiko, das sich bis dahin angehäuft hat, ist relativ groß. Es beträgt für die jährlichen Neuverbräuche (C_{manu}) nach Kältemitteltypen mindestens $\pm 30\%$, für den ungegliederten Gesamtverbrauch noch $\pm 20\%$. Der einzige Korrekturfaktor ist bislang die Marktschätzung der Kältemittelhersteller, ein begrenztes Instrument, da die Hersteller nur die Gesamtverkäufe pro Jahr kennen, nicht aber nach Neuanlagen-Befüllung und Emissionsersatz unterscheiden können. Lediglich bei Servicekältemitteln für Altanlagen genießen die Daten hohe Sicherheit ($\pm 10\%$).

Emissionsfaktor. Der Emissionsfaktor (EF_{manu}) 0,2% beruht auf Befragungen von zahlreichen Praxis-Experten. Da keine Messungen vorliegen, kann er allerdings auch 0,15% oder 0,3% betragen. Die Gesamtemissionen (Befüllung plus laufender Betrieb) werden durch diese Unsicherheit aber nur marginal berührt.

6. Verhältnis zur IPCC-Methode I

In Table 3.22 (IPCC GPG) werden "best estimates for charge, lifetime and emission factors" präsentiert, und zwar auch für "Stand-alone Commercial Application" und "Medium & Large Commercial Refrigeration". Die Füllmengen reichen dort von 0,2 bis 6 kg bzw. 50 bis 2000 kg. Die Lebensdauer wird auf zwischen 7 und 10 Jahre geschätzt.

IPCC-GPG gibt für "initial emission" 0,5 bis 3 Prozent der Erstfüllung an. Die länderspezifischen Daten von ÖR liegen mit 0,2 weit darunter.

7. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emissions from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1. Die Einträge in die Spalten B und H für die zahlreichen Kältemittel der Gewerbekälte reichen dort von Zeile 14 bis 27.

II. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

Wie einleitend in Teil I bemerkt wurde, ist aufgrund vernachlässigbaren Außenhandels mit (H)FKW-haltigen stationären Kälteanlagen der jährliche Zugang zum inländischen (H)FKW-Bestand (In_{bank}) grundsätzlich so groß wie der in Teil I betrachtete HFKW-Neuverbrauch im Inland (C_{manu}). Der für die Ermittlung des Bestands erforderliche jährliche Zugang kann daher aus Teil I übernommen werden.

8. Der (H)FKW-Bestand in den Anlagen der gesamten Gewerbekälte

Der (H)FKW-Endbestand eines Jahres (EB_n) in stationären Kälteanlagen erhöht sich seit dem Startjahr 1993 jährlich um den inländischen Zugang (In_{bank}), solange keine Abgänge vorkommen. Erste Abgänge kommen bei einer Lebensdauer von 10 Jahren nicht vor 2003 vor, auch umgerüstete Altanlagen werden ab 2003 erstmals entsorgt.

Der mittlere Jahres-Bestand (B_n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres (EB_{n-1}) und des laufenden Jahres (EB_n). Als Gleichung:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2} \quad \text{wobei} \quad EB_n = EB_{n-1} + In_{bank\ n}$

Der mittlere Jahresbestand (B_n) weist damit die Zeitreihe lt. Tab. 13 auf. Die Kältemittel werden nach der Anlagenbauart, in der sie sich befinden, eingetragen. Dies ist wegen deren unterschiedlicher Emissionsdichtheit erforderlich.

Tab. 13: Mittlerer jährlicher (H)FKW-Bestand (B_n) in stationären Anlagen der Gewerbekälte (einschl. umgerüsteter) seit 1995 in t									
KM	Anlagen-Bauart	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
134a	Zentral/Ortsmontiert	137	287	497	736	976	1216	1456	1696
	Verflüssigungssätze	6	13	23	34	45	55	66	77
	Einzelgeräte	27	56	98	145	192	240	287	334
	Altanlagen	30	130	300	500	650	700	700	700
	Summe 134a	200	486	918	1415	1863	2211	2509	2807
404A	Zentral/Ortsmontiert	166	465	920	1479	2082	2685	3289	3892
	Verflüssigungssätze	12	34	67	107	151	195	239	282
	Einzelgeräte	7	19	37	59	83	107	132	156
	Altanlagen	5	20	50	85	110	120	120	120
	Summe 404A	190	538	1074	1730	2426	3107	3780	4450
407C	Ortsmontiert	0	0	2	7	18	38	67	106
23	Einzelgeräte	3	4	6	9	17	32	46	60
116	Ortsmontiert	0	1	2	4	6	9	13	16
125	Altanlagen	102	186	270	347	396	415	418	419
152a	Altanlagen	3	13	39	72	91	100	103	99
218	Altanlagen	8	18	31	48	61	67	72	76
	Summe alle KM	505	1244	2340	3630	4879	5980	7007	8038

Quellen: Neuverbräuche aus Tab. 5, 9, 10, umgerechnet nach oben stehender Gleichung.

9. Raten der laufenden Emissionen vom Bestand

Die laufenden (H)FKW-Emissionen aus stationären Kälteanlagen der Gewerbekälte differieren stark voneinander nach der Anlagenbauart.

Es gelten folgende jährlichen Emissionsraten:

1. Zentralanlagen im allg. Lebensmittelhandel	10%
2. Ortsmontierte Anlagen der sonstigen Gewerbekälte	10%
3. Verflüssigungssätze im allg. Lebensmittelhandel	5%
4. Einzelgeräte in der sonstigen Gewerbekälte	1,5%
5. Altanlagen in der gesamten Gewerbekälte	15%

10. Ermittlung der laufenden Emissionsraten

Die Emissionsraten von Zentralanlagen in Lebensmittelmärkten wurden und werden von den meisten einschlägigen Experten auf ca. 10% geschätzt, wenn zum normalen Kältemittelverlust auch weniger häufige, aber mit hohem Kältemittelverlust verbundene Havarien gezählt werden und die Anlage auf HFKW ausgelegt ist. Dieser Wert ist durch die im Auftrag des Forschungsrats Kältetechnik durchgeführte Studie "Dichtheit von Kälteanlagen" vom ILK Dresden anhand von 62 Verbundanlagen und dezentralen Anlagen in Supermärkten Hessens und Sachsens repräsentativ bestätigt worden. Er wird hier für Zentralanlagen sowie andere ortsmontierte Anlagen benutzt.

Für steckerfertige Einzelgeräte, die keine vor Ort verlegten Kältemittelleitungen benötigen und mit hermetischen Verdichtern arbeiten, werden dagegen nur 1,5% Verlust pro Jahr (einschl. Totalschäden) angesetzt.

Der Wert 5% für dezentrale Verflüssigungssätze, die zwar vor Ort, aber mit relativ kurzen Leitungen und wenig Fügestellen aufgebaut werden, geht zurück auf die Plausibilität, dass die Emissionen niedriger sind als bei weit verzweigten Systemen, aber höher als aus steckerfertigen Einzelgeräten. Messungen liegen nicht vor.

Altanlagen stammen aus der Ära chlorhaltiger Kältemittel und damit vor der Zeit erhöhter Aufmerksamkeit in Bezug auf Dichtheit. Die 15% waren in der ersten Hälfte der 90er Jahre Allgemeingut der einschlägigen Experten (siehe u. a. Literatur bei FKW 1995, 1997).

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Ersatz von R 12 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Statusbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Hannover, November 1995, S. 96.

FKW: Ersatz von R 502 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Texte 29/97, Berlin, Juni 1997, S. 90.

Winfried Schwarz, HFKW-Emissionen aus Kälte- und stationären Klimaanlageanlagen. Aus einer neuen Studie des Umweltbundesamts zu Minderungspotentialen fluorierter Treibhausgase in Deutschland, in: DIE KÄLTE & Klimatechnik 4/2000, S. 16.

ILK Dresden, Projektleitung Ralf Birndt, Dichtheit von Kälteanlagen, im Auftrag des
Forschungsrats Kältetechnik, Frankfurt am Main 1999.

BKT Bonnet Kältetechnik GmbH, Mannheim, Fachgespräch über Kühlanlagen des allgemeinen
Lebensmittelhandels, Weinheim, 08.08.2002.

Öko-Recherche/Solvay Fluor: Fachgespräch über Basisdaten und Verkaufsmengen für HFKW
in stationären kälte- und klimatechnischen Anwendungen, Teilnehmer: Winfried Schwarz
(ÖR), Christoph Meurer (Solvay) und Felix Flohr (Solvay), Hannover 26.03.03.

ILK Dresden, Verbesserung der Dichtheit kältetechnischer Erzeugnisse, im Auftrag des
Forschungsrats Kältetechnik e.V., FKT 86/01, Frankfurt, Januar 2003.

11. Laufende HFKW-Emissionen vom Bestand

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd.
Emissionsrate (ER_{op}) an den letztlich durch Addition der jährlichen inl. (H)FKW-
Neuzugänge entstandenen mittleren Bestand B_n jenes Jahres (vgl. Abschnitt 8):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei ER von 1,5%, 5%, 10% und 15% für (H)FKW-haltige neue und umgerüstete
stationäre Kälteanlagen ergeben sich als Gleichung für die laufenden Emissionen:

ER_{op} (1,5%, 5%, 10%, 15%)	x	B_n
--------------------------------	---	-------

Die lfd. jährlichen (H)FKW-Emissionen aus dem Bestand sind (in t/a):

Tab. 14: Laufende (H)FKW-Emissionen aus dem Bestand in stationären Anlagen der Gewerbekälte (einschl. umgerüsteter) seit 1995 in t/a									
KM	Anlagen-Bauart	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
134a	Zentral/Ortsmontiert	14	29	50	74	98	122	146	170
	Verflüssigungssätze	0	1	1	2	2	3	3	4
	Einzelgeräte	0	1	1	2	3	4	4	5
	Altanlagen	5	20	45	75	98	105	105	105
	Summe 134a	19	51	97	153	201	234	258	284
404A	Zentral/Ortsmontiert	17	46	92	148	208	269	329	389
	Verflüssigungssätze	1	2	3	5	8	10	12	14
	Einzelgeräte	0,1	0,3	1	1	1	2	2	2
	Altanlagen	1	3	8	13	17	18	18	18
	Summe 404A	19,1	51,3	104	167	234	299	361	423
407C	Ortsmontiert			0,2	1	2	4	7	11
23	Einzelgeräte	0,1	0,2	0,3	0,4	0,9	2	2	3
116	Ortsmontiert	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	1	1	2
125	Altanlagen	15	28	41	52	59	62	63	63
152a	Altanlagen	0,5	2	6	11	14	15	15	15
218	Altanlagen	1,2	3	5	7	9	10	11	11
	Summe alle	54	134	252	391	519	624	718	812

Quelle: Tab. 13 und Gleichung in diesem Abschnitt.

Kommentar

Die HFKW-Emissionen aus dem Bestand steigen kontinuierlich an. Bezogen auf den
Gesamtbestand (Tab. 13, letzte Zeile) bilden die Gesamtemissionen (Tab. 14, letzte

Zeile) Emissionsraten zwischen 10,8 und 10,1%. Aus Tabelle 14 geht die bislang sehr hohe Bedeutung der (H)FKW-Emissionen aus den stark emissiven umgestellten Altanlagen für das Gesamtbild hervor. Sie machten in 2002 noch immer 26% aller Emissionen aus. Mit ihrem Ausscheiden aus dem Bestand ab 2003 wird sich die "Gesamtemissionsrate" daher senken. Auch die absoluten Emissionen gehen dann von ihrem in 2006 erreichten Höchststand von knapp 1000 t/a wieder zurück (alle Kältemittel), um sich ab ca. 2010 auf einem Niveau von 925 t zu bewegen. Der Zielbestand von ca. 10.300 t ist dann erreicht, und die Emissionsrate beträgt ca. 9%.

Die Emissionen bleiben aber durch die Zentralanlagen und andere ortsverlegte Systeme bestimmt, für die hier konstante 10% angenommen werden. Die größte Emissionsreduktion ist daher in diesem Bereich erzielbar, wenn u. a. gesetzlich vorgesehene Maßnahmen der Emissionsminderung greifen.

12. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle II

Emissionsrate. Für den Bestand gibt es keine neuen Daten zu bewerten, die nicht schon in Teil I bewertet worden sind. Die Emissionsraten, die in Teil II eingeführt wurden, sind im Vergleich zu sonstigen Emissionsraten als sehr sicher zu bewerten, da die 10% für Zentral- und ähnliche feldmontierte Anlagen einer repräsentativen Studie für Deutschland entstammen und zugleich die Orientierungsgröße für die Emissionsrate 5% und 15% darstellen. Auch die 1,5% für Einzelgeräte ist als sicher zu bewerten. Die Abweichungen bei den Raten 5%, 10% und 15% liegen nach Einschätzung von Ökorecherche bei $\pm 2\%$ (absolut).

13. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Das IPCC-Manual GPG formuliert unter "3.7.4 Stationary refrigeration sub-source category" als allgemeine Gleichung 3.42 der laufenden Emissionen im Rahmen eines Bottom-up approach:

$\text{Operating Emissions} = (\text{Amount of HFC and PFC Stock in year } t) \times (x/100)$

Dabei ist x die Emissionsrate. Als default value (best estimates) wird in Table 3.22 als Emissionsfaktor (% of initial charge/year) für "Stand-alone Commercial Applications", die mit Verflüssigungssätzen gleichgesetzt werden können, eine Größenordnung von 1 bis 10 genannt. Hier werden 5% verwendet. Für "Medium & Large Commercial Refrigeration", was Zentralanlagen und ortsmontierte Anlagen sind, werden zwischen 10 und 30% vorgeschlagen. ÖR liegt mit 10 bzw. 15% im unteren Bereich.

14. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Average annual stocks" und "Emissions from stocks" für die diversen Kältemittel primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihen 14 bis 27, jeweils die Spalten C und I.

Anhang – Das Modell der Sonstigen Gewerbekälte

Sonstige Gewerbekälte I	Anzahl	Anlagen-Bauart	Qo kW	KM kg/kW	KM kg/Anl.	KM in kg	404A t	134a t	23 116	407C t
Fleischereien										
Unternehmen	19402	TK-Räume	5	2,5	12,5	242.525	242,5			
dav. Filialen	11401	NK-Räume	5,5	2	11	213.422	160,1	53,4		
		Verarbeitungsräume	4,2	1	4,2	81.488	40,7	40,7		
		Verkaufsmöbel	3,6	1	3,6	69.847		69,8		
			18,3		31,3	607.283				
Bäckereien	18468	Gärunterbrecher	2,69	2,5	6,725	124.197	124,2			
		NK-Zellen (Schränke)	3,38	1	3,38	62.422		62,4		
		TK-Zellen (Schränke)	0,62	1,5	0,93	17.175	17,2			
			6,69		11,035	203.794				
Schankgaststätten	49548	Theken	0,67	1	0,67	33197		33,2		
		NK-Zellen (Schränke)	1,28	1	1,28	63421		63,4		
		TK-Zellen (Schränke)	1,26	1,5	1,89	93646	93,6			
		Kleinkühlmöbel	0,67	1	0,67	33197		33,2		
			3,88		4,51	223.461				
Eisdielen	6785	Eisvitrine	1,13	2	2,26	15334	15,3			
		Kühltresen	1,05	1	1,05	7124	7,1			
		TK-Truhe	1,13	1	1,13	7667	7,7			
		TK-Schrank	1,01	1	1,01	6853	6,9			
		Eismaschine	2	2	4	27140	27,1			
		Pasteuriserer	3,2	1	3,2	21712	21,7			
		Sahneautomat	0,1	1	0,1	679	0,7			
		Softeismaschine	3	1,8	5,4	36639	36,6			
			12,62		18,15	123.148				
Imbisshallen	24408	Kühltresen	1,05	0,5	0,525	8477		8,5		
ohne nur HH-Kä	16147	Flaschen-KS	0,53	1	0,53	8558		8,6		
		Gewerbe-KS	0,49	1	0,49	7912		7,9		
		GewerbeTK-S	0,91	1,5	1,365	22041	22,0			
		NK-Kühlzelle	2,86	1	2,86	46180		46,2		
			2,98		5,77	93.168				
Kantinen/Caterer	8210	NK-Kühlzelle	2,2	1	2,2	18062		18,1		
		TK-Zelle	3,2	1,5	4,8	39408	39,4			
		Kleingeräte	2,3	0,5	1,15	9442		9,4		
					8,15	66.912				
Restaurants	92642	NK-Kühlzelle	2,2	1	2,2	203812		203,8		
		TK-Zelle	3,2	1,5	4,8	444682	444,7			
		Kleingeräte	2,3	0,5	1,15	106538		106,5		
					8,15	755.032				
Sonst. Großküchen	30000	NK-Kühlzelle	2,2	1	2,2	66000		66,0		
		TK-Zelle	3,2	1,5	4,8	144000	144			
		Kleingeräte	2,3	0,5	1,15	34500		34,5		
					8,15	244.500				
Kl. Blumenläden	11000	NK-Kühlzelle	4,73	1	4,73	52.030		52		
Gr. Blumenläden	5415	NK-Kühlzelle	16	1	16	86.640		86,6		
Friedhofsgärtner	4500	NK-Kühlzelle	4,73	1	4,73	21.285		21,3		
Zierpfl/Baumsch.	20000	NK-Kühlzelle	3,315	1	3,315	66.300		66,3		
Getränke-EH	9820	Getränke-KS.	0,47	0,5	0,235	2308		2,3		
		TK-Truhe	0,15	0,7	0,105	1031		1,0		
			0,62		0,34	3.339				
Apotheken	21590	Medikamenten-KS	0,39	0,5	0,195	4.210		4,2		
Verkaufsautomat	200000	Kühlschrank	0,5	0,5	0,25	50000		50,0		

Sonstige Gewerbekälte II	Anzahl	Anlagen-Bauart	Qo kW	KM kg/kW	KM kg/Anl.	KM in kg	404A t	134a t	23 116	407C t
Tankstellen	16617	Kühlregal	0,47	1	0,47	7810		7,8		
		TK-Schrank	0,63	0,7	0,441	7328	7,3			
		TK-Insel	1,1	0,7	0,77	12795	12,8			
		Kühlzelle	1,8	1	1,8	29911		29,9		
			4,00		3,48	57.844				
Labors	6600	Gewerbe-KS	0,45	0,5	0,225	1.485		1,5		
	3300	Gewerbe-TK-S	0,39	0,7	0,273	901	0,9			
	3300	Kühlzelle	3,3	1	3,3	10.890		10,9		
			4,14		3,798	13.276				
Milchviehbetriebe	25000	Tauchkühler	3	0,5	1,5	37.500	37,5			
	50000	Kühlwannen	6	1	6	300.000	225			75
	50000	Kühltanks	10	1	10	500.000	250			250
						837.500				
Obst u. Gemüse	52000	Kühlräume	13	1	13	676.000	169	338		169
Blumen-GH	600	NK-Kühlraum	30	1	30	18.000		18		
Wehrtechnik										
- stationäre		Küchen NK	8000	1		8000		8		
		Küchen TK	1000	1,5		1500	1,5			
		Krankenhäuser	4500	1		4500		4,5		
		Kühlung Geräte	41500	1		41500	41,5			
		Sonstige Kälte	10000	1		10000		10		
- mobile		Einzelgeräte	42000	1		42000		42		
		Marine o. Proviant	40000	1		40000	40,0			
		Proviant Marine	500	1		500		0,5		
						148.000				
Hotels/Gasthöfe	19968	NK	2,2	1	2,2	43930		43,9		
m. Betten		TK	3,2	1,5	4,8	95846	95,8			
					7	139.776				
Pensionen/Garni	10707	NK	1	0,5	0,5	5353,5		5,4		
m Betten		TK	1	0,7	0,7	7494,9	7,5			
					1,2	12.848				
Krankenh. o. RLT	2242	NK-Kühlzelle	2,2	1	2,2	4932		4,9		
		TK-Kühlzelle	3,2	1,5	4,8	10762	10,8			
	208	Pathologie	1	1	1	208		0,2		
					8	15.902				
Reha-Kliniken	1393	NK-Kühlzelle	2,2	1	2,2	3065		3,1		
		TK-Kühlzelle	3,2	1,5	4,8	6686	6,7			
					7	9.751				
Blutkonserven	400	Schockgefrieren	6,25	1,5	9,375	3750			3,75	
Blutspende		Zwischenlagerung	1,4	2	2,8	1120	1,1			
		Gefrierlagerung	10	2	20	8000	8			
		Gefrierlag. dezen.	1,2	2	2,4	960	1			
					34,575	13.830				
Bestattungseinr.	3000	Leichenkühl. NK	1	1	1	3000		3		
(mit Pathologie)		Leichenkühl. TK	2	2	4	12000	12			
					5	15.000				
Laborgeräte	30000	(statt 13B1)			5	150.000			150	
Tieft.-Laborkälte	100000	(statt R13,R503)			0,25	25.000			25	
Sport-Eishallen	136	25% mit HFKW	1311	2	2622	89148	89,1			
Freiluft-Eisbahnen	39	10% mit HFKW	1573	2	3146	12269	12,3			
Zwischensumme						4835247	2481	1681	179	494
Bottom-up-Zuschl.	30% auf Zwischensumme (67% 404A – 33% 134a)					1450574	967	484		
Total						6285820	3.448	2.165	179	494

F-Gas-Blatt 9 Pkw-Klimaanlagen

F-Gas	HFKW 134a
Anwendung	Pkw-Klimaanlagen
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen
Emissionstyp 5	Entsorgungsemissionen

Hintergrund

Die Ausstattung der jährlich neuzugelassenen Pkw mit Klimaanlagen steigt seit 1994 dynamisch an. Die Ausrüstquote nahm von 19% auf 87% im Jahre 2002 zu.

Seit 1994 (Modelljahr) kommen neue Pkw-Klimaanlagen nur noch mit R-134a statt FCKW R-12 auf den inländischen Markt. Die Übergangsfrist begann mit der S-Klasse von Mercedes-Benz im April 1991. 1992 kamen weitere deutsche Hersteller dazu, die bis Ende 1993 die Umstellung abgeschlossen hatten. In Importfahrzeugen war 134a vor 1993 noch nicht nennenswert vertreten, aber ab 1994 bereits vollständig. Später wurden - vor allem in den Jahren 1996 bis 1998 - in zahlreichen Alt-Anlagen FCKW durch HFKW-134a ausgetauscht.

Neue Pkw ohne Klimaanlage sind bald die Ausnahme. Gleichzeitig ist als Gegentendenz zum steigenden HFKW-Verbrauch eine Verringerung der spezifischen Füllmengen festzustellen, die jedoch nicht annähernd das Wachstum klimatisierter Neuzulassungen und damit des HFKW-Bestands ausgleicht.

Wegen ihrer hohen laufenden Emissionen in Verbindung mit der hohen Stückzahl im Bestand sind Pkw-Klimaanlagen gegenwärtig mit Abstand die größte einzelne Emissionsquelle fluorierter Treibhausgase in Deutschland.

I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

1 Aktivitätsdaten I. Der jährliche HFKW-Neuzugang im Inland

1.a Jährliche Neuzulassungen von Pkw mit Klimaanlage

Durch Direktbefragung der Pkw-Anbieter mit mehr als 8.000 Fahrzeugen jährlichem Inlandsabsatz wurden für 1993 bis 2002 für alle Pkw-Modelle mit deutscher Marke und 83% bis 97% aller Modelle ausländischer Marke die spezifischen Klimaquoten und Füllmengen ermittelt und zu Durchschnittswerten zusammengefasst. Fehlende Informationslücken bei Importfahrzeugen wurden über eine Hochrechnung anhand der KBA-Zulassungsstatistik geschlossen. Das ergibt die Zeitreihen in Tab. 1:

Tab. 1: Neuzulassungen von Pkw (in Mio. Stück), ihre mittlere AC-Quote (in %) und Kältemittel-Füllmenge (in kg) 1993-2002												
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Neuzul. Mio.	3,429	3,930	3,194	3,209	3,314	3,496	3,528	3,736	3,802	3,378	3,342	3,253
AC-Quote %	0,4*	1,5*	9,4*	18,5	25,0	37,9	51,8	62,3	73,5	79,6	84,1	86,6
Füllung kg	1,20	1,03	0,94	0,88	0,88	0,88	0,83	0,82	0,76	0,76	0,73	0,70

Quelle: Direktbefragungen der Hersteller mit maßgeblichem Inlandsabsatz (siehe Abschn. 3).

* Ohne R-12-Anlagen, die noch vorkommen. 1994 ist das erste Jahr umfassender Befüllung neuer Pkw-ACs mit R-134a.

Seit 1991, dem ersten Jahr mit Füllung des HFKW-134a in Neufahrzeugen, schwanken die jährlichen Zulassungen neuer Pkw zwischen 3,2 und 3,9 Mio. Stück. Die AC-Quote ist seitdem von etwa 10% (incl. R12-ACs) auf 87% (nur 134a-ACs) gestiegen. Gleichzeitig sank die spezifische Füllmenge von 1,20 auf 0,70 kg, vor allem, weil immer mehr kleinere Fahrzeuge klimatisiert wurden.

1.b Jährlicher HFKW-Zugang durch neue inländische Pkw-Klimaanlagen

Der HFKW-Zugang im Inland (In_{bank}) durch neue (werkseitige) Klimaanlagen im Jahr n ergibt sich mit Hilfe der Tab. 1 in zwei Schritten: Erstens durch Gewichtung der Neuzulassungen im Jahr n (Z. 1) mit der AC-Quote jenes Jahres (Z. 2). Zweitens durch Multiplikation der AC-Quoten-gewichteten Stückzahl mit der jahrgangsspezifischen HFKW-Füllmenge in kg (Z. 3). Der jährliche HFKW-Zugang durch neue Pkw-Klimaanlagen im Inland ist in Tab. 2 eingetragen.

Tab. 2: Jährlicher HFKW-134a-Neuzugang d. neue Pkw-Klimaanlagen 1993-2002 in t/a												
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
134a in t	17	63	282	524	726	1.165	1.521	1.902	2.138	2.037	2.050	1.962

Quelle: Daten aus Tab. 1.

1.c Zusätzlicher HFKW-Neuzugang durch Nachrüstungen und R-12-Ersatz

Der weitaus bestimmende Teil der Klimaanlagen wird werkseitig eingebaut und befüllt. Seit 1994 wurden allerdings auch Klimaanlagen nachträglich eingebaut. Die geschätzte HFKW-Menge in solchen Anlagen, die in den Zahlen oben nicht enthalten ist, wird in Tab. 3 (Z. 1) ausgewiesen. Dazu kommen seit 1995 vorgenommene Umrüstungen von R-12-Altanlagen, deren Wiederbefüllung mit FCKW nach deutschem Recht nicht mehr erlaubt war. Auch die dafür eingesetzten HFKW-Mengen sind oben nicht enthalten und

werden gesondert aufgeführt (Tab. 3, Z. 2). Die gesamte jährliche Erstbefüllung von HFKW-134a in Klimaanlage von im Inland registrierten Pkw ist in Tab. 3, Z. 4 dargestellt als Summe aus der Füllung für neue Pkw (aus Tab. 2 in Tab. 3, Z. 3 übertragen) und den kleineren Füllmengen für Nach- und Umrüstungen. ("Erstbefüllung" mit 134a schließt ursprünglich mit FCKW befüllte Altanlagen ein.)

Tab. 3: Jährliche HFKW-Neufüllung für Nachrüstung und Umrüstung und korrigierter HFKW-Gesamt-Neuzugang durch inl. Pkw-Klimaanlagen 1994-2002 in t/a									
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Nachrüstung t	27	32	32	30	29	19	16	11	11
2. R 12-Ersatz t	0	7	53	70	72	46	12	0	0
3. Füllung Neu-Pkw	524	726	1.165	1.521	1.902	2.138	2.037	2.050	1.962
4. Korr. Neufüllung t	551	765	1.249	1.621	2.003	2.204	2.065	2.061	1.973

Quellen: Tab 3 (Füllung neuer Anlagen). Abschn. 3 für Nachrüstung und R-12-Ersatz.

Der jährliche inländische Neuzugang (In_{bank}) setzt sich zusammen aus drei Bestandteilen: HFKW-Zugang durch neue ACs (In_{neu}), Zugang durch nachgerüstete ACs (In_{nachr}) und Zugang durch umgerüstete ACs (In_{umr}). Als Formel für das Jahr n:

Gleichung 1:	$In_{bank} n = (In_{neu} + In_{nachr} + In_{umr}) n$
--------------	--

Die Notwendigkeit der separaten Aufstellung von Nach- und Umrüstmengen ergibt sich daraus, dass die Restnutzungsdauer nachträglich eingebauter bzw. umgestellter Klimaanlage geringer ist (8 bzw. 7 Jahre) und sie früher zur Entsorgung anstehen als werkseitige Anlagen des gleichen HFKW-Fülljahrgangs, deren Lebensdauer 12 Jahre ist. Von nachgerüsteten und umgerüsteten Anlagen beginnt die Entsorgung im Jahr 2002 (Jahrgang 94 und 95). Ab 2003 scheiden systematisch auch werkseitig befüllte Jahrgänge aus, zunächst der – noch schwache - Jahrgang 1991.

Dies bedeutet, dass ab 2002 bei der Ermittlung der laufenden Bestandsemissionen das Ausscheiden von 134a-Klimaanlagen beachtet werden muss. In 2002 sind es bereits 27 t aus Nachrüstung (von 1994) und 7 t aus dem R-12-Ersatz (von 1995).

2. Der HFKW-Bestand in Pkw-Klimaanlagen

Der HFKW-Endbestand des Vorjahres (EB_{n-1}) in Pkw-ACs wächst zum Endbestand des laufenden Jahres (EB_n) durch den Neuzugang im Inland (In_{bank}). $In_{bank} n$ ist nach Gl. 1 die Summe ($In_{neu} + In_{nachr} + In_{umr}$). Diese Gleichung (2) genügte bis 2001, als der Endbestand eines Jahres nur Zugänge, noch keine Abgänge aufwies:

Gleichung 2:	$EB_n = EB_{n-1} + In_{bank} n$
--------------	---------------------------------

Unter Abgängen ist die zu entsorgende HFKW-Menge in ausscheidenden Anlagen zu verstehen. Sie wird mit De_{bank} (englisch für Disposal) bezeichnet. Darum ist Gl. 2 für den Jahresendbestand weiterzuentwickeln zur Gleichung 2 a:

Gleichung 2 a:	$EB_n = EB_{n-1} + In_{bank} n - De_{bank} n$
----------------	---

Die Menge zur Entsorgung ($De_{bank} n$) löst sich auf in den Neuzugang (In_{bank}) aus dem um die (Rest)-Lebensdauer ($LT = \text{Life Time}$) zurückliegenden Jahr ($n - LT$). Als Gleichung (3):

Gleichung 3:	$De_{bank} n = In_{bank} (n - LT)$
--------------	------------------------------------

Da die LT für neue, nachgerüstete und umgerüstete ACs unterschiedlich ist, besteht die Entsorgungsmenge eines Jahres ($De_{bank} n$) wieder aus drei Teilen, nämlich

- dem Neuzugang durch Neuanlagen vor 12 Jahren ($In_{neu} n-12$),
- dem Neuzugang durch Nachrüstanlagen vor 8 Jahren ($In_{nachr} n-8$),
- dem Neuzugang durch Umrüstanlagen vor 7 Jahren ($In_{umr} n-7$).

Allgemeine Gleichung (4) für den HFKW-Endbestand (EB) des Jahres n ist somit:
Endbestand des Vorjahres (EB_{n-1}) plus Neuzugang im Jahr n ($In_{neu} + In_{nachr} + In_{umr}$) minus Entsorgungsmengen im Jahr n ($In_{neu} n-12 + In_{nachr} n-8 + In_{umr} n-7$).

Gleichung 4:
$EB n = EB_{n-1} + (In_{neu} + In_{nachr} + In_{umr}) n - (In_{neu} n-12 + In_{nachr} n-8 + In_{umr} n-7)$

Ausgangsgröße für die Emissionsermittlung sind nicht unmittelbar die Endbestände, sondern der mittlere Bestand eines Jahres, der sich aus je zwei Endbeständen ergibt. Der mittlere Jahres-Bestand ($B n$) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres ($n-1$) und des Endbestands des aktuellen Jahres (n) (Gleichung 5):

Gleichung 5:
$B n = \frac{EB_{n-1} + EB n}{2}$ wobei $EB n$ durch Gl. 2a bzw. 4 bestimmt ist.

Durch Einfügung der Daten aus den Tab. 1-3 in die Gleichung 5 ergibt sich folgende Zeitreihe für den mittleren HFKW-Bestand in inl. Pkw-Klimaanlagen ab 1995:

Tab. 4: Mittlerer HFKW-Bestand in inl. Pkw-Klimaanlagen seit 1995 in t								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
HFKW 134a in t	1.295	2.302	3.737	5.549	7.652	9.786	11.849	13.849

Quelle: Berechnung auf Basis der Daten von Abschnitt 1, nach Gleichung 5. Die mittleren Bestände der Jahre 1991 bis 1994 sind für die lfd. Emissionen nicht direkt relevant.

Kommentar zur Zeitreihe der Aktivitätsdaten I

Neuzulassungen von Pkw mit Klimaanlage und die daraus ermittelten mittleren Jahresbestände zeigen eine steile Aufwärtstendenz, die Ausdruck der seit 1994 sprunghaft wachsenden Klimatisierung neuer Pkw ist. Der seit 1998 sichtbare Rückgang bei Nachrüstungen (Tab. 3) geht eben darauf zurück, dass die Mehrzahl der im Inland abgesetzten Pkws bereits werkseitig klimatisiert ist. Im Jahr 2000 trat zwar erstmals ein Rückgang des HFKW-Zugangs durch neue Pkw-Klimaanlagen ein. Dieser hängt jedoch nicht von nachlassender AC-Quote von Neufahrzeugen ab und ist nur teilweise durch die Rückgänge bei Nachrüstanlagen und Umrüstungen von R-12-Altanlagen erklärbar. Hauptgrund ist neben sinkender Neuzulassungen die anhaltende Tendenz zur Reduzierung der mittleren Füllmenge. Diese wurde von 1999 bis 2002 weiter von 0,76 kg auf 0,70 kg gesenkt (Tab. 1).

Wegen der bei 95% der Neuzulassungen erwarteten AC-Sättigung und der weiteren Verminderung der spezifischen Füllmengen dürfte das Wachstum der 134a-Menge in

Neuzulassungen 2006 seinen Spitzenwert (bei ca. 2.532 t) erreichen. Der Bestand dürfte dagegen länger zunehmen und bis 2015/16 auf fast 30.000 t anwachsen.

3. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen

Daten ab 1995: Die Daten zu Klimaquoten und Füllmengen wurden von ÖR durch Direktbefragung der auf den deutschen Markt liefernden Autohersteller ermittelt. Ziel war, für jedes Berichtsjahr ab 1995 zu ermitteln:

1. Anzahl der im Inland abgesetzten Klimaanlage der deutschen Hersteller,
2. Anzahl der im Inland abgesetzten Klimaanlage ausländischer Hersteller,
3. mittlere spezifische Füllmenge jener Klimaanlage getrennt für deutsche und ausländische Hersteller.

Da sich die mittlere Füllmenge eines Herstellers aus der Absatzstruktur seiner einzelnen Modelle ergibt, die verschiedene, oft in der Zeit wechselnde, Füllmengen aufweisen, liegt diese Zahl in keinem Unternehmen fertig vor. Folglich bestand die Datenermittlung darin, pro Berichtsjahr die Klimatisierungsquote von etwa 100 inländischen und 300 ausländischen Modellen zu erfragen, von denen aus KBA-Statistiken nur der Gesamtabsatz (ohne Rücksicht auf Klimaanlage) bekannt ist. Die Füllmengen nach Modellen liegen z. T. in einschlägigen Handbüchern vor.

Übergang 1991-1994: Die komplizierte Phase bis 1994 wurde von ÖR außer bei den erwähnten Direktbefragungen im Rahmen einer Studie für das Umweltbundesamt über den R-12-Ersatz in Altanlagen erstmals 1998 untersucht, und ein zweites Mal (nur für deutsche Marken) im Rahmen des Gutachtens 2001 für das Umweltbundesamt über Emissionen aus mobilen Klimaanlage. Für Importfahrzeuge konnte der VDIK (Verband der Importeure von Kraftwagen e.V.) Angaben machen.

Nachrüstanlagen: Angaben über Nachrüstungen von Klimaanlage stammen vom Marktführer Waeco International, mit dem laufender Kontakt gehalten wurde.

Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

1. Zu Klimaquoten und Füllmengen nach Modellen der einzelnen Hersteller ab 1995

Adam Opel AG, Rüsselsheim, 22.05.96, 17.02.99, 12.06.01, 25.10.02, 05.09.03.
 AUDI AG, Ingolstadt, 19.06.96, 24.02.99, 17.08.01, 21.10.02, 02.09.03.
 BMW AG, München, 12.06.96, 11.03.99, 22.05.01, 29.08.03.
 Citroen Deutschland AG, Köln, 30.05.96, 03.03.99, 30.10.02, 12.09.03.
 Daihatsu Deutschland GmbH, Tönisvorst, 15.03.99, 31.10.02, 26.09.03.
 DaimlerChrysler AG (anfangs Mercedes-Benz AG), Stuttgart, 07.06.96, 23.03.99, 26.07.01, 14.10.02, 01.10.03.
 Deutsche Renault AG, Brühl, 11.06.96, 26.03.99, 21.10.02, 23.10.03.
 Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Zuffenhausen, 22.06.96, 23.02.99, 18.10.02, 29.08.03.
 Fiat-Automobil AG, Heilbronn, seit 1997 Frankfurt, 30.05.96, 02.03.99, 20.10.02, 28.08.03.
 Ford Werke AG, Köln, 22.07.96, 29.03.99, 18.05.01, 14.10.02, 22.09.03.
 Honda Deutschland GmbH, Offenbach, 17.06.96, 03.03.99. Seit 2002: Honda Motor Europe (North) GmbH, gleiche Anschrift. 19.11.02, 26.09.03.
 Hyundai Motor Deutschland GmbH, Neckarsulm, 29.05.96, 15.03.99, 13.11.02, 18.09.03.
 Kia Motors GmbH, Bremen, seit 2002 in der Befragung, 01.09.03.
 Mazda Motors Deutschland, Leverkusen, 30.05.96, 26.03.99, 08.10.02, 25.09.03.

Mitsubishi Motors Deutschland GmbH (Mitsubishi Auto Deutschland GmbH), Trebur, 07.06.96, 16.03.99, 29.10.02, 02.09.03.
Nissan Motors Deutschland GmbH, Neuss, 04.06.96, 02.03.99. Seit 1998: Renault Nissan Deutschland AG, Brühl, 20.10.02: Daten für 1998-2001 im Zuge der Fusion mit Renault nicht mehr auffindbar. (Ersatzweise VDIK-Daten eingesetzt; ÖR). Für 2002: 01.09.03.
Peugeot Deutschland GmbH, Saarbrücken, 05.06.96, 01.03.99, 23.10.02, 26.08.03.
Rover Deutschland GmbH, Neuss, 17.07.96, 01.03.99, 11.10.02. Seit 2003 nicht mehr in der Befragung. Marke MINI bei BMW geführt.
Saab Deutschland, Bad Homburg, 03.06.96, 01.09.99, 10.10.02, 29.08.03.
SEAT Deutschland GmbH, Mörfelden, 04.06.96, 12.03.99, 09.10.02, 29.08.03.
Skoda Deutschland, Weiterstadt, 31.05.96, 11.03.99, 09.10.02, 29.08.03.
Smart GmbH, Böblingen, 21.11.02, 29.08.03.
Subaru Deutschland, Friedberg, 09.03.99, 17.10.02, 05.09.03.
Suzuki Auto GmbH, Oberschleißheim, 12.06.96, 02.03.99, 28.10.02, 10.09.03.
Toyota Deutschland, Köln, 31.05.96, 12.03.99, 21.10.02, 01.09.03.
Volkswagen AG, Wolfsburg, 29.05.96, 17.02.99, 20.03.01, 15.10.02, 08.09.03.
Volvo Car Germany GmbH (vorher Volvo Deutschland), Köln, 11.06.96, 22.02.99, 22.10.02.
Seit 2002: Befragung nicht mehr nötig, da alle Modelle mit AC in Serie.

Außerdem zu Füllmengen:

Autodata 2003, Klimaanlagen. Tafel der Füllmengen seit 1997, erhältlich bei Fust, Wever & Co. GmbH, Essen, 0201-82774-0.

2. Zur Übergangsphase 1991-1994 (Auswahl)

VDIK (Verband der Importeure von Kraftwagen e.V.), Bad Homburg, Scheiben vom 03.07.96.
Öko-Recherche: R-12-Ersatz bei Altanlagen von 1996 bis Mitte 1998. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, August 1998. (Unveröffentl. Korrespondenz im ÖR-Archiv).
Öko-Recherche (Winfried Schwarz): Emissionen des Kältemittels R-134a aus mobilen Klimaanlagen. Jährliche Emissionsraten von bis zu sieben Jahre alten Pkw-Klimaanlagen, Gutachten für das Umweltbundesamt Berlin, Frankfurt 2001. (Noch zahlreiche unveröffentlichte Korrespondenz im ÖR-Archiv)

3. Zu Nachrüstklimaanlagen

Waeco International GmbH (vorm. Waeco Wähning & Co. GmbH), Emsdetten, Mitt. seit 1996.

4. Die Rate der laufenden Emissionen

Die Rate der laufenden Emissionen, die sich aus "regulären" und "irregulären" zusammensetzt, beträgt jährlich 10% auf die Füllmenge einer Klimaanlage. Sie wird, zumindest bis 2003, als konstante Relation zur Füllmenge (und damit zum angehäuften Bestand) aufgefasst. Emissionsreduzierungen pro Klimaanlage vollziehen sich seit 1991 im Wesentlichen über eine Reduzierung der Füllmenge. Diese ist etwa von 1995 bis 2002 um 20%, von 0,876 kg auf 0,697 kg gesunken.

Informationsquellen zur lfd. Emissionsrate

Schätzungen der R-134a-Emissionen aus mobilen Klimaanlagen, die speziell auf den HFKW-Einsatz eingestellt und emissionsdichter sind als die alten FCKW-Anlagen, reichen von unter 5% bis über 20%. Sie gründen meist auf Expertenurteilen und, seltener, Labormessungen (vgl. u. a. Clodic 1997, AFCE 1998; Baker 1999; IPCC 1999; Preisegger 1999, Fischer 1997, mit Einschränkungen auch Siegl et al. 2002).

Die einzigen bis 2003 vorliegenden Studien über Kältemittelverluste von Fahrzeugen, die im Straßenverkehr genutzt wurden, stammen von 2001 bzw. 2003 (Öko-Recherche 2001 u. Öko-Recherche/Ecofys 2003). Darin wurde eine laufende jährliche

Emissionsrate von 10% festgestellt. Die 10% teilen sich auf in 7% für regulären Kältemittelverlust und 3% für irreguläre Verluste (Unfälle, mechanische Beschädigungen durch Steinschlag usw.). In den 10% sind keine Emissionen enthalten, die durch Service (Öffnen und Evakuieren des Kreislaufs) entstehen. Schätzungen darüber reichen pro Wartung von "wenige Gramm" bis zu 10% der Füllmenge. Mangels Verlässlichkeit werden Service-Emissionen nicht betrachtet.

Schriftliche Quellen zur Emissionsrate

- AFCE (Alliance Froid Climatisation Environment), Projection à 15 ans des émissions de HFC, Rapport d'étude par L. Palandre, D. Clodic, A.M. Pougin, mai 1998.
- Baker, James A. (Delphi Automotive Systems, Inc): Mobile Air Conditioning: HFC-134a Emissions and Emission Reduction Strategies, in: Joint IPCC/TEAP Expert Meeting on Options for the Limitation of Emissions of HFCs and PFCs, Petten, 26-28 May 1999.
- Clodic, D., Ben Yahia, M. (Centre d'Energétique, Ecole des Mines de Paris): New Test Bench for Measuring Leak Flow Rate of Mobile Air Conditioning Hoses and Fittings. Earth Technology Conference, Baltimore, 1997.
- Fischer, Marcus: Klimawirksame Emissionen durch Pkw-Klimaanlagen. Diplomarbeit an der TU Berlin, FB 10, ISS-Fahrzeugtechnik, 1997.
- IPCC 1999 = IPCC/OECD/IEA Programme for National Greenhouse Gas Inventories, Good Practice in Inventory Preparation for Industrial Processes and the New Gases, Draft Meeting Report Washington DC, United States, 26-28 January 1999.
- Öko-Recherche (Winfried Schwarz): Emissionen des Kältemittels R-134a aus mobilen Klimaanlagen. Jährliche Emissionsraten von bis zu sieben Jahre alten Pkw-Klimaanlagen, Gutachten für das Umweltbundesamt Berlin, Frankfurt 2001.
<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/vollR134a.pdf>.
- Öko-Recherche (Winfried Schwarz)/Ecofys (Jochen Harnisch): Establishing the Leakage Rates of Mobile Air Conditioners. Report on the EU Commission (DG Environment). B4-3040/2002/337136/MAR/C1. Frankfurt/Nürnberg 2003.
http://www.oekorecherche.de/english/berichte/volltext/leakage_rates.pdf.
- Preisegger, Ewald (Solvay Fluor und Derivate GmbH): Automotive Air Conditioning Impact of Refrigerant on Global Warming, in: Joint IPCC/TEAP Expert Meeting on Options for the Limitation of Emissions of HFCs and PFCs, Petten, 26-28 May 1999.
- Siegl, W.O. and T.J. Wallington et al., R-134a Emissions from Vehicles, ENVIRON. SCI & TECHNOL., VOL. 36, 561-566 (2002).

5. Die laufenden Emissionen in t seit 1995

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER_{op}) an den durch Saldierung aller im Inland erfolgten Neuzugänge und Abgänge erhaltenen (mittleren) Bestand (B_n) jenes Jahres (vgl. Abschnitt 2):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei einer ER von 10% für Pkw-ACs ergibt sich als Gleichung für die lfd. Emissionen:

ER_{op} (10%)	x	B_n
-----------------	---	-------

Die lfd. jährlichen HFKW-Emissionen aus dem Bestand sind in Tab. 5 in t/a:

Tab. 5: Laufende Emissionen aus dem mittleren HFKW-Bestand in allen Pkw-Klimaanlagen seit 1995 in t								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Mittlerer Bestand	1.295	2.302	3.737	5.549	7.652	9.786	11.849	13.849
Laufende Emiss.	129	230	374	555	765	979	1.185	1.385

Quelle: Berechnung auf Basis der vorigen Abschnitte.

Kommentar

Die Emissionen entwickeln sich seit 1995 konstant aufwärts, proportional zum Wachstum des Bestands in den Klimaanlagen. Wenn dieser, wenn die Entwicklung weitergeht wie bisher, noch bis 2015/17 weiter anwächst, werden auch die Emissionen erst dann ihren Höchststand bei ca. 2.900 t/a erreichen.

6. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Die Datensicherheit der Meldungen von Anzahl und Füllmengen der im Inland abgesetzten Klimaanlagen nach Fahrzeugmodellen ist sehr hoch für die Berichtsjahre 1995 bis 2002. Die Daten gründen auf unternehmensintern geführten Absatzlisten und sind daher fast so verlässlich wie die amtlichen Zulassungsstatistiken des KBA. Nahezu gleich hoch ist die Datenqualität bei Nachrüstanlagen. Quelle ist der marktbeherrschende Lieferant, dessen Daten über seinen Marktanteil hochgerechnet wurden. Die für die Bestandsbestimmung 1995 erforderliche Rekonstruktion des Zeitraums des Umstiegs von R-12 auf R-134a gilt trotz der Kompliziertheit ebenfalls als verlässlich, da hierzu dt. Autohersteller 1998 und 2001 und Importeure (1998) im Rahmen von zwei für Studien für das Umweltbundesamt von ÖR genau befragt wurden.

Eine Quelle der Unsicherheit in den Beständen wird an Bedeutung gewinnen, nämlich die Anzahl der jährlich vor Ende ihrer technischen Lebensdauer ausscheidenden (meist exportierten) klimatisierten Fahrzeuge. Hierzu wären mittelfristig empirische Untersuchungen nützlich, wie generell zur Entsorgungspraxis.

Emissionsrate. Verglichen mit sonstigen kältetechnischen Emissionsraten ist die Rate für Pkw-Klimaanlagen-Emissionen, die jüngst mit 10% für Anlagen der Baujahre 1995 bis 2001 empirisch und statistisch ermittelt wurde, sehr solide. Bei einem Konfidenzintervall von 95% beträgt die statistische Abweichung weniger als $\pm 1\%$ ($= \pm 2 \times \text{Standard Error}$).

Die im übrigen immer wieder vorgeschlagene Datenkontrolle der Emissionen durch einen top-down Ansatz, der die an die Autohäuser und Werkstätten verkauften Kältemittelmengen erfasst, geht u.a. von der irrigen Annahme aus, dass sämtliche Kältemittelverluste sofort wieder aufgefüllt werden. Da eine Klimaanlage noch mit wenig über der Hälfte ihrer ursprünglichen Füllmenge kühlt, kommt Auffüllen erst in späteren Nutzungsjahren vor und im Gefolge von Defekten. Gegenwärtig ist die nachgefüllte Menge noch viel kleiner als die effektive emittierte.

7. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Die Emissionen aus Autoklimaanlagen werden in IPCC GPG unter "3.7.5 Mobile air-conditioning sub-source category" behandelt. ÖR folgt der Anforderungsstufe, die in Box 3 des Decision Tree for Actual Emissions formuliert wird: "Calculate emissions by vehicle class and age, using country-specific bottom-up emission factors."

In Gleichung 3.49 ist die Bestimmung der Operating Emissions wie folgt dargestellt:

$\text{Operating Emissions} = (\text{Amount of HFC-134a Stock in year } t) \times (x/100).$

Dabei ist $x/100$ der Emissionsfaktor. Statt der vorgeschlagenen 10-20% (Table 3.23) benutzt ÖR die Messungen beruhende 10% und liegt damit an der unteren Grenze. Die average vehicle lifetime wird in IPPC GPG mit 12 Jahren als default value angegeben. Dieser Wert wird auch hier benutzt. Wie in IPCC GPG für die activity data vorgeschlagen, wird der "stock of HFC-134a in operating vehicles" durch Erfassung von Anzahl und Füllmengen der inländischen klimatisierten Fahrzeugflotte ermittelt. Dabei geht ÖR in der Exaktheit weiter und setzt für die Füllmenge keinen default value ein, sondern ermittelt auch ihn empirisch.

8. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, worin stock und lfd. Emissionen von 134a aus Pkw- Klimaanlage primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihe 84, Spalten C und I.

II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

9. Aktivitätsdaten II

Das CRF verlangt die Abschätzung von inländischem Neuverbrauch für die Herstellung und von bei der Herstellung (manufacturing) entstehenden Verlusten von HFKW. Der inl. Neuverbrauch (C_{manu}) richtet sich nicht nach den im Inland zugelassenen, sondern im Inland produzierten klimatisierten Fahrzeugen.

Der Verband der Automobilindustrie (VDA) publiziert jährlich für das Vorjahr die Inlandsproduktion der Pkw nach allen Modellen. Die Klimaquote wird nicht erhoben. ÖR übertrug hilfsweise die seit 1995 (s. Abschnitt 3) ermittelte AC-Quote der inl. Neuzulassungen jener Modelle auf ihre inl. Neuproduktion. Die Füllmengen der Modelle, die bei Neuzulassungen und Inlandsproduktion identisch sind, sind ebenfalls bekannt und wurden zur Ermittlung der eingesetzten Kältemittelmenge benutzt. In einer externen Tabellenkalkulation wurden für die ca. 55 verschiedenen Pkw-Modelle, die im Inland produziert wurden, auf diese Weise die Anzahl der jährlich im Inland verbauten Pkw-Klimaanlagen ermittelt sowie der inl. Verbrauch (C_{manu}) von HFKW-134a zur Befüllung. Siehe Tab. 6. (Von den Befüllungen von Alt- und Nachrüstanlagen wird wegen Geringfügigkeit der dabei anfallenden Emissionen abgesehen).

Tab. 6: Zahl der im Inland eingebauten Pkw-Klimaanlagen in Mio. Stück und HFKW-Verbrauch für ihre Befüllung im Werk 1995-2002								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Mio. Stück ACs	1,585	2,283	2,935	3,991	4,562	4,667	4,982	4,875
134a Verbrauch t	1.446	2.076	2.544	3.345	3.789	3.486	3.607	3.474
Mittl. Füllung kg	0,91	0,91	0,87	0,84	0,83	0,75	0,72	0,71

Quellen: VDA – Tatsachen und Zahlen, 59. – 67. Folge, Frankfurt am Main (Pkw-Produktion nach Modellen). Direktbefragung durch ÖR: Klimaquoten und Füllmengen nach Modellen. Die Berechnung erfolgte mittels externer Tabellenkalkulation.

Kommentar

Die Zahl der im Inland werkseitig eingebauten Pkw-ACs hat sich seit 1995 mehr als verdreifacht – von 1,5 auf 4,9 Mio. Stück. Etwas langsamer stieg der Verbrauch von 134a, da, wie die letzte Zeile von Tab. 6 zeigt – die Füllmengen drastisch sanken.

10. Emissionen pro Befüllung: 2 g

Bei der Befüllung von Pkw-Klimaanlagen in der Autofabrik werden pro Befüllvorgang 2 Gramm Kältemittel freigesetzt ($EF_{\text{manu}} = 2 \text{ g/MAC}$).

11. Informationsquellen für die Emissionen bei der Befüllung

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Der Wert 2 Gramm Verlust bei der Befüllung einer Pkw-Klimaanlage an der Fertigungsline mit Hilfe automatischer Befüllungsmaschinen ("filling guns") stammt vom führenden europäischen Hersteller solcher Maschinen, der dänischen Firma AGramkow. Ihrem Divisionsleiter Bjarne Lund zufolge beruht der Wert auf Messungen. Ebenfalls 2 Gramm wurden vom Verkaufsleiter Kältemittel der deutschen DuPont-

Niederlassung genannt, der eine interne Berechnung der "fugitiven" Verluste auf dem Weg vom Kältemittellieferanten bis zur befüllten Autoklimaanlage für mehrere Autofabriken erstellt hat.

Persönliche Mitteilungen

AGRAMKOW Fluid Systems A/S, Sonderborg (Dänemark), 14.02.03.

DuPont Deutschland GmbH, Bad Homburg, 16.11.02.

12. Die Fertigungsemissionen

Aus den 2 Gramm pro Befüllvorgang leiten sich in Tab. 7 die Befüllemissionen in t/a und der implizite Emissionsfaktor als Prozentsatz vom HFKW-Neuverbrauch (C_{manu}) ab. Zugrunde liegen die Stückzahlen und der jährliche Verbrauch aus Tab. 6.

Tab. 7: Verlust pro Befüllung, Befüllemission und Emissionsfaktor Pkw-ACs 1995-2002								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Verlust in g/AC	2	2	2	2	2	2	2	2
Befüllemiss. in t	3,170	4,557	5,868	7,982	9,125	9,332	9,964	9,751
EF (% d. Verbr.)	0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,28

Quelle: Berechnungen aufgrund Tab. 6 und EF_{manu} von 2 g pro Befüllung.

13. Emissionsfaktor des inländischen Neuverbrauchs

Durch Beziehung der Befüllemissionen, die durch 2 g Verlust pro befüllter Klimaanlage entstehen, auf den Kältemittelverbrauch (Tab. 6, Z. 2), ergeben sich implizite Emissionsfaktoren, die in Tab. 7 in der unteren Zeile dargestellt sind. Sie beginnen 1995 mit 0,22% und steigen bis 2002 auf 0,28% an. Der Anstieg ist Ausdruck der sinkenden Füllmenge pro Klimaanlage, da der emittierte Betrag eine konstante Größe ist.

14. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle II

Aktivitätsdaten. Die Datensicherheit bei den für die Befüllung relevanten Aktivitätsdaten gründet generell auf der Qualität der Aktivitätsdaten, die auch den lfd. Emissionen zugrunde liegen. Deren Sicherheit ist sehr hoch. Beim HFKW-Verbrauch für die Befüllung neuer Pkw-Klimaanlagen kommt eine Unsicherheit dadurch herein, dass zwar die Füllmengen, aber nicht die Klimaquoten direkt ermittelt, sondern von den Neuzulassungen auf die Inlandsproduktion übertragen wurden.

Exkurs: Test der Übertragungsmethode

Wegen der herausragenden Bedeutung der Befüllemissionen bei Pkw-Klimaanlagen gemessen an allen inl. Kältemittel-Befüllemissionen (75% von ca. 13 t in 2002) hat ÖR versucht, in dieser Anwendung den durch Übertragung der Klimaquoten errechneten Inlandsverbrauch mit dem wirklichen Verbrauch zu vergleichen. Da die Autohersteller bei den Kältemittelherstellern jährlich ihre geplante Einkaufsmenge ausschreiben, wurden Kältemittelhersteller gebeten, die ihnen dadurch bekannten 2002er Einkaufswerte der Autobauer für die inl. Standorte mitzuteilen - für je zwei/drei Käufer zusammengefasst. Zwei Kältemittelhersteller gaben ÖR solche Daten, aus denen die für Lkw und Busse bestimmten Mengen herausgerechnet sind. Es zeigt sich in Tab. 8 folgendes Bild für die realen Werte und die Rechenwerte.

Tab. 8: Vergleich zwischen errechneten Verbrauchsmengen und realen Einkäufen von HFKW-134a der sieben inländischen Pkw-Hersteller

Autobauer:	1 + 2	3 + 4	5 + 6 + 7	Summe
1. Einkaufsmenge real t	1.160	1.080	1.200	3.440
2. Verbrauch errechnet t	1.173	1.073	1.227	3.473
Abweichung 2. v. 1.	+ 13	- 7	+ 27	+ 23

Quelle für Einkaufsmengen: Von Kältemittelherstellern anonymisierte Mitteilung.

Der Vergleich zwischen Rechen- und realen Werten zeigt wenig Abweichung voneinander. In der Summe kommen nur 23 t oder weniger als 1% Differenz zustande. Dies zeigt, dass die Übertragungsmethode durchaus Sinn macht, wenn auch streng genommen nur für 2002. Dennoch scheint es so zu sein, dass in jüngerer Zeit die Klimaquote der inl. Neuzulassungen nicht weit von der Klimaquote der inl. Produktion entfernt ist.

Emissionsrate: Zur Sicherheit des Emissionsfaktors ist zu sagen, dass die 2 Gramm pro Anlage als durchaus solider Wert gelten können, zumal der marktbestimmende Anbieter der entsprechenden Füllsysteme in Europa und Deutschland dafür bürgt.

15. Verhältnis zur IPCC-Methode II

In Table 3.23 über default emission parameters für den Fall eines bottom-up approach werden als First Fill emission rate 0,5% benannt (übrigens als updated values nach ursprünglichen 4-5%). Der von ÖR länderspezifische Wert liegt bei 2 g pro Anlage und - umgerechnet zu einem Prozentsatz - bei 0,22 bis 0,28%, mit anderen Worten bei etwa der Hälfte des IPCC default value.

16. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emission from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1. Die Daten für 134a werden in Reihe 84 eingetragen, und zwar in die Spalten B und H.

III. Entsorgungsemissionen

17. Aktivitätsdaten III

Die erstmalig im Jahr 2002 zur Entsorgung systematisch anstehenden HFKW-Mengen sind der Nachrüstjahrgang 1994 mit 27 t und der Umrüstjahrgang 1995 mit 7 t des HFKW-134a.

Die Zahlen stammen aus Tab 3 in Teil I (Zeilen 1 und 2), wo sie als Neuzugang fürs Inland (In_{bank}) eingetragen sind. Gemäß Gleichung 4 (Abschn. 2 in Teil I) fallen sie 8 bzw. 7 Jahre später als Entsorgungsmengen an ($De_{bank\ n} = In_{bank} (n - 8)/(n - 7)$).

Zur Datensicherheit gibt es an dieser Stelle nichts Neues gegenüber Teil I zu sagen.

18. Emissionsrate bei der Entsorgung

30% auf die ursprünglich eingefüllte Menge.

19. Emissionen bei der Entsorgung

Bei der in 2002 zu entsorgenden Menge von 34 t entstanden Emissionen von 10,1 t (30%).

20. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle III

30% ER_{disp} mag viel erscheinen, zumal nicht anzunehmen ist, dass Pkw-Klimaanlagen zum Verschrottungstermin noch voll sind. Dies wird allerdings auch nicht unterstellt. 50% Verluste aus einer nur noch halb vollen Anlage laufen auf etwa den gleichen Wert hinaus. Zugegebenermaßen sind die Kenntnisse der realen Entsorgungspraxis noch gering, zumal in 2002 eine geordnete Entsorgung von HFKW-Kältemitteln aus verschrotteten Klimaanlagen erst im Aufbau begriffen war.

Selbst bei bester Infrastruktur wird es jedoch Grenzen geben, die u.a. eine Rückgewinnung des im Öl gelösten Kältemittels mit Hilfe der für Verwerterbetriebe typischen Absauggeräte auf unter 50 g kaum zulassen. Der einzige neuere Literaturwert zu "Verlusten bei der jahrgangsweisen Entsorgung" stammt von ÖR, das die Emissionen "bis auf weiteres" auf 25% schätzt. Der Wert wird allerdings inzwischen für zu niedrig gehalten.

Öko-Recherche (Winfried Schwarz): Emissionen des Kältemittels R-134a aus mobilen Klimaanlagen. Jährliche Emissionsraten von bis zu sieben Jahre alten Pkw-Klimaanlagen, Gutachten für das Umweltbundesamt Berlin, Frankfurt 2001, S. V.
<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/vollR134a.pdf>.

21. Verhältnis zur IPCC-Methode III

Die Entsorgungsemissionen aus Autoklimaanlagen werden in IPCC GPG unter "3.7.5 Mobile air-conditioning sub-source category" für den Bottom-up approach in Gleichung 3.50 behandelt. Diese lautet:

$\text{Disposal Emissions} = (\text{HFC-134a Charged in year } t - n) \times (y/100) \times (1 - z/100).$

Dabei ist y der Prozentsatz der ursprünglichen Befüllung, die sich zum Entsorgungszeitpunkt noch in der Klimaanlage befindet. Die Variable z entspricht der Rückgewinnungs-Effizienz bei der Entsorgung. Sofern Kältemittel rückgewonnen wird, soll der Prozentsatz z von der zu entsorgenden Menge abgezogen werden, wodurch die Emissionen reduziert werden.

Die "updated default values" in Table 3.23 nehmen als "typical remaining charge (y)" 40% der vollen MAC unit an. Die "fraction recovered (z)" wird mit 0% angesetzt, wenn das entsprechende Land kein "recovery and recycling program" besitzt.

Das bedeutet, dass unter Anwendung der default values 40% bei der Entsorgung emittieren. Da es in Deutschland seit Juli 2002 die Altauto-Verordnung gibt, ist 0% Rückgewinnung hier nicht zu veranschlagen.

Gegenüber der IPCC-Annahme von 40% Emissionen in Ländern ohne Rückgewinnung (Emission des ganzen Restkältemittels), entspricht ein nur 30% betragender Verlust in Deutschland 2002 (ÖR) einer Rückgewinnung von 25% des noch 40% betragenden Restkältemittels $[(40\%-30\%)/40\%]$. Diese Größenordnung ist wohl nicht einmal unrealistisch.

22. Eintrag in CRF III

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Amount of fluid remained in products at decommissioning" und "Emissions from disposal" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihe 84, Spalten D und J. Fluid ist HFC-134a.

F-Gas-Blatt 10 Lkw-Klimaanlagen

F-Gas	HFKW 134a
Anwendung	Lkw-Klimaanlagen
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen

Hintergrund

Seit 1994 kommen neue Lkw-Klimaanlagen, auch importierte, auf den inländischen Markt nur noch mit HFKW-134a statt FCKW-12. 1993 hatte bereits die Hälfte neuer klimatisierter Lkw HFKW-Anlagen gehabt.

Die Ausrüstung der jährlich als Nutzfahrzeuge (Lkw, Nfz) neuzugelassenen Straßenfahrzeuge aller Gewichtsklassen hat sich von 1994 bis 2002 von 5% auf 32% erhöht. Diese Quote steigt weiter an, sie ist besonders hoch bei den Fahrerkabinen schwerer Lkw. Die spezifischen Füllmengen sinken zwar (von 1,06 auf 1,03 kg), allerdings nicht so stark wie bei Pkw.

Die hohe physische Beanspruchung der Klimaanlage infolge längerer Laufzeiten und stärker belastender Fahrweise sowie die Bauweise der Kippkabine, die längere flexible Strecken der Kältemittelleitungen erforderlich macht, führt zu Kältemittelverlusten, die höher als beim Pkw liegen.

I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

1 Aktivitätsdaten I. Jährlicher HFKW-Neuzugang im Inland

1.a Die jährlichen Neuzulassungen von Lkw nach Nutzlastklassen

Das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) veröffentlicht jährlich für das Vorjahr die Anzahl der im Inland neu zugelassenen Lastkraftwagen, untergliedert nach 10 Nutzlastklassen, außerdem die Zahl der Sattelzugmaschinen. Tab. 1 gibt diese Zahlen wieder – wobei die 10 Klassen auf drei für die Klimatisierung relevante Nutzlastkategorien reduziert wurden. Sattelzugmaschinen werden hier generell der Nutzlastklasse > 7,5 t zugerechnet.

Tab. 1: Neuzulassungen von Nutzfahrzeugen nach Nutzlastklassen 1993-2002										
Nutzlastklasse	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. < 1,5 t	140.682	153.466	148.865	144.057	156.016	169.007	180.197	173.315	165.340	154.419
2. 1,5 t – 7,5 t	45.786	42.838	41.335	36.737	38.087	46.469	51.930	47.989	42.846	37.200
3. > 7,5 t	34.917	31.801	37.903	36.127	38.195	46.680	54.545	53.388	47.004	39.920
Gesamt	221.385	228.105	228.103	216.921	232.298	262.156	286.672	274.692	255.190	231.539

Quelle: KBA, Statistische Mitteilungen, Reihe 3, Kraftfahrzeuge, div. Jahressbände.

Seit 1993, dem ersten Jahr des Einsatzes des Kältemittels HFKW-134a, schwanken die jährlichen Zulassungen neuer Lastkraftwagen zwischen 217 und 286 Tsd. Stück. Die zahlenmäßig größte Gruppe stellen die Lkw mit Nutzlast unterhalb 1,5 t dar.

1.b Das Kältemittel-Modell für Lkw

Der jährliche Kältemittelzugang durch neue Lkw-Klimaanlagen im Inland in jeder der drei Nutzlastklassen hängt außer von den Neuzulassungen lt. Tab. 1 von zwei Faktoren ab: 1. der Klimaquote (AC-Quote) und 2. der spezifischen Kältemittelfüllung in jeder Nutzlastklasse. Tab. 2 enthält diese Informationen, wobei die Füllmenge nur für die Nutzlastklasse < 1,5 t angegeben wird. Grund ist, dass Veränderungen nur hier stattfanden, nämlich eine Verminderung von 1,0 auf 0,85 kg. In der mittleren und oberen Nutzlastklasse blieben die HFKW-Mengen mit 1 kg bzw. 1,2 kg konstant.

Tab. 2: AC-Quoten nach Nutzlastklassen und Füllmenge in der Klasse < 1,5 t 1993-2002										
Nutzlastklasse	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. < 1,5 t	1%*	3%	4%	6%	9%	12%	12%	13%	16%	20%
2. 1,5 t – 7,5 t	2%	4%	7,5%	8,5%	10%	11%	18%	20%	21%	24%
3. > 7,5 t	5%*	20%	36%	41%	53%	63%	69%	74%	82%	83%
Füllung[< 1,5t]	1,00 kg	0,90 kg	0,90 kg	0,90 kg	0,88 kg	0,87 kg	0,86 kg	0,86 kg	0,86 kg	0,85 kg

Quellen: Siehe Abschnitt 2.

* 1993 wurden in der oberen und unteren Nutzlastklasse nur 50% der Klimaanlagen mit 134a befüllt, der Rest noch mit R-12. Daher die niedrigen AC-Quoten, die HFKW-AC-Quoten sind. Zur Beachtung: Die Füllmengen in den Nutzlastklassen > 1,5 t sind konstant 1 bzw. 1,2 kg.

1.c Jährlicher HFKW-Zugang durch neue Lkw-Klimaanlagen im Inland

Die Neuzugang (In_{bank}) des Kältemittels 134a im Jahr n ergibt sich in zwei Schritten. Erstens durch Gewichtung der Stückzahl von Neuzulassungen in einer bestimmten

Nutzlastklasse des Jahres n (Tab. 1) mit der AC-Quote in der fraglichen Nutzlastklasse des Jahres n – gemäß Tab. 2. Zweitens: Multiplikation der AC-Quoten-gewichteten Stückzahl mit der entsprechenden Füllmenge in kg (in der Klasse $< 1,5$ t nach Tab. 2, letzte Zeile, bzw. in der mittleren Klasse mit 1,0 kg und in der oberen Nutzlastklasse mit 1,2 kg). Daraus leitet sich der HFKW-Neuzugang lt. Tab. 3 ab.

Tab. 3: Jährlicher HFKW-Neuzugang durch Lkw-Klimaanlagen 1993-2002 in t/a										
Nutzlastklasse	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. $< 1,5$ t	1,4	4,1	5,1	7,5	11,9	18,1	19,5	19,5	23,6	27,3
2. $1,5$ t – $7,5$ t	0,9	1,5	3,1	3,1	3,8	4,9	9,5	9,5	9,0	8,8
3. $> 7,5$ t	2,2	7,5	16,6	17,9	24,2	35,2	45,0	47,4	46,3	39,9

Quellen: Tab. 1 und Tab. 2.

2. Der HFKW-Bestand in Lkw-Klimaanlagen

Der HFKW-Endbestand eines Jahres (EB_n) in Lkw-ACs erhöht sich jährlich um den Neuzugang im Inland (In_{bank}), solange keine Abgänge vorkommen, was bei einer Lebensdauer von 12 Jahren noch nicht systematisch der Fall ist. Anders: Der HFKW-Endbestand des Vorjahres (EB_{n-1}) erhöht sich im laufenden Jahr n um den Neuzugang im Inland ($In_{bank\ n}$) zu EB_n .

Der mittlere Jahres-Bestand (B_n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres $n-1$ und des aktuellen Jahres n . Als Formel:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2} \quad \text{wobei} \quad EB_n = EB_{n-1} + In_{bank\ n}$

Der mittlere Jahresbestand (B_n) wird nachfolgend nach nur zwei statt drei Nutzlastklassen unterschieden. Das Emissionsverhalten in den beiden oberen Nutzlastklassen ist nämlich gleichartig, so dass beide zusammengefasst und der leichten Nutzlastklasse $< 1,5$ t gegenübergestellt werden können. Es zeigen sich in Tab. 4 folgende Zeitreihen seit 1995:

Tab. 4: Mittlerer HFKW-Bestand in Lkw-Klimaanlagen nach Nutzklassen seit 1995 (t/a)								
Nutzlastklasse	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
$< 1,5$ t	8,1	14,4	24,1	39,1	57,9	77,4	98,9	124,4
$1,5$ t – $> 7,5$ t	22,0	42,3	66,8	100,8	148,1	203,7	259,8	311,8
Gesamt	30,1	56,7	90,9	140,0	206,0	281,1	358,7	436,2

Quelle: Berechnung auf Basis der Daten von Abschnitt 1.

Kommentar zur Zeitreihe der Aktivitätsdaten I

Bei gleich bleibenden Neuzulassungen von Lkw zeigen die Ausstattungen mit Klimaanlagen und die HFKW-Bestände eine ausgeprägte Tendenz aufwärts, die Ausdruck anhaltenden Wachstums der Klimatisierung sind. Im Jahr 2002 war zwar erstmals ein Rückgang des HFKW-Zugangs durch ACs in neuzugelassenen Lkw feststellbar. Ursache war aber nicht eine rückläufige AC-Quote (diese stieg weiter an), sondern rückläufige Stückzahlen neuer Lkw in allen Nutzlastklassen.

Die mittlere Füllmenge hat sich in der leichten Klasse von 1995 bis 2002 von 0,90 bis auf 0,85 kg reduziert, in den oberen Nutzlastklassen blieb sie konstant.

Verstärkter HFKW-Neuzugang in den Jahren 1996 bis 1998 durch besonders hohe Mengen von HFKW-134a für den Ersatz von R-12 in Altanlagen, wie dies bei Pkw und Bussen der Fall ist, kam bei Lkw so gut wie nicht vor. Lt. Schuster von der Webasto Fahrzeugtechnik in Stockdorf (pers. Mitt. 20.07.98) wurden Lkw-Klimaanlagen praktisch nicht bzw. im Umfang von maximal 2 t umgerüstet.

Eine künftige Sättigung der Neufahrzeug-Klimatisierung muss differenziert betrachtet werden. Bei schweren Fahrzeugen (Nutzlast > 7,5 t) beträgt die AC-Quote heute (2002) schon 83%. Eine bei 90% denkbare Sättigung könnte 2004 erreicht werden. Bei mittelschweren Lkw (Nutzlast 1,5 – 7,5 t) lag 2002 die AC-Quote bei 24% und bei leichten Lkw (< 1,5 t) bei 22%. Bei mittelschweren Lkw könnte eine Sättigung bei 50% im Jahre 2010 erreicht werden. Eine Prognose für leichte Lkw ist schwierig. Hier wird eine Sättigung bei 45% angenommen, die im Jahr 2013 erreicht ist, wenn das langsame, aber stetige Wachstumstempo anhält.

Der mittlere HFKW-Bestand wird, auch unter Berücksichtigung der Abgänge nach 12-jähriger Nutzungsdauer, bis 2024 für alle drei Nutzlastklassen zusammen weiter ansteigen. Er beträgt dann 1.670 t. Nur bei schweren Lkw ist das Maximum infolge früherer Sättigung bei Neufahrzeugen schon 2015 anzusetzen - bei 648 t.

3. Ermittlung und Informationsquellen der Aktivitätsdaten

Die oben dargestellten Daten wurden von ÖR nicht wie bei Pkw durch direkte Befragung sämtlicher relevanter in den deutschen Markt liefernden Hersteller ermittelt, die für jedes verkaufte Fahrzeugmodell die AC-Quote melden. Erstens wäre für ein solches Vorgehen angesichts 37 verschiedener relevanter Lkw-Hersteller mit teilweise breiter Modellpalette der Aufwand sehr hoch. Zweitens fehlt für den Lkw-Bereich eine wie bei den Pkw nach einzelnen Modellen geführte Zulassungsstatistik des KBA, die eine gezielte Befragung ausgewählter Hersteller erleichtern würde.

Die Aktivitätsdaten werden über eine Kombination aus amtlicher Statistik, gezielter Herstellerbefragung und Hochrechnung ermittelt. Für die Hochrechnung wurde die KBA-Statistik über die "Jährlichen Zulassungen von fabrikneuen Lastkraftwagen nach Nutzlastklassen und der Sattelzugmaschinen" herangezogen. Der methodisch entscheidende Schritt besteht darin, für jede der drei Nutzlastklassen "typische" Lkw-Modelle herauszufinden und durch Direktbefragung der Hersteller deren Zulassungszahlen, AC-Quoten und AC-Füllmengen zu ermitteln.

Diese repräsentativen Nutzfahrzeuge sind in der

Nutzlastklasse > 7,5 t:	Modell Actros von DaimlerChrysler mit einem Marktanteil zwischen 40% und 52% in diesem 35.000 bis 55.000 Fahrzeuge umfassenden Segment.
Nutzlastklasse 1,5 – 7,5 t:	Modell Atego von DaimlerChrysler mit einem Marktanteil zwischen 22% und 35% in diesem 37.000 bis 52.000 Fahrzeuge umfassenden Segment.
Nutzlastklasse < 1,5 t:	Die Mercedes-Modelle Sprinter und Vito, die VW-Modelle Transporter, LT u. Caddy sowie die Renault-Modelle Master und Kangoo mit addierten Marktanteilen zwischen 40% und 73% in diesem 140.000 bis 180.000 Fahrzeuge umfassenden Segment.

Die für diese Nutzlastklassen-typischen Fahrzeuge jährlich ermittelten AC-Quoten sowie spezifischen Füllmengen werden ohne weitere Korrektur auf die Gesamtzahl der jährlichen Neuzulassungen lt. KBA-Statistik in den drei Nutzlastklassen übertragen.

Anmerkung zur unteren Nutzlastklasse: Die Zahl der direkt zu befragenden Firmen wird aus praktischen Gründen möglichst klein gehalten. Denn die verwendeten fünf deutschen und zwei französischen Modelle sind Fahrzeuge, die sowohl als Pkw als auch als Lkw zugelassen werden können. Anders als in manchen Ländern, wo dieser Fahrzeugtyp als Light Commercial Vehicle eingestuft wird, ist die Abgrenzung in Deutschland nicht immer leicht. Zumindest DaimlerChrysler, Volkswagen und Renault sind in der Lage, die als Lkw zugelassenen und als Pkw zugelassenen Fahrzeuge getrennt mitzuteilen.

Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Modelle Actros und Atego:

DaimlerChrysler AG (Werk Wörth), 09.03.99, 07.11.02, 01.10.03.

Modelle Vito und Sprinter:

DaimlerChrysler AG, Stuttgart, 18. und 19.11.02, 19.09.03.

Modelle Transporter/Caravelle, LT, Caddy:

Volkswagen AG, Werk Hannover, 12.03.01, 13.11.02, 01.09.03.

Modelle Master und Kangoo:

Deutsche Renault AG, Brühl, 21.10.02, 23.10.03.

4. Die Raten der laufenden Emissionen

Die Rate der laufenden Emissionen, die sich aus "regulären" und "irregulären" zusammensetzt, beträgt für leichte Nutzfahrzeuge (Nutzlastklasse < 1,5 t) jährlich 10%. Dieser Wert wird abgeleitet aus der baulichen Verwandtschaft zu Pkw.

In den beiden höheren Nutzlastklassen gelten 15% als Rate der laufenden Emissionen. Grund: Solche Fahrzeuge und ihre Klimaanlage unterliegen höherer mechanischer Belastung, und haben deutlich längere Laufzeiten. Außerdem sind infolge der Kippkabinen längere und mehr flexible Leitungen erforderlich, da es Komponenten gibt, die fest ans Fahrgestell montiert, und solche die in die Kabine integriert sind.

Der von Jahr zu Jahr wechselnde Anteil der beiden schwereren Nutzlastklassen gegenüber der leichten bedingt, dass es keine konstante Emissionsrate für die Quellgruppe der Lkw-Klimaanlagen gibt. Die lfd. Emissionsrate für alle Lkw schwankt seit 1995 jedoch nur geringfügig und lag jedes Jahr entweder bei 13,6% oder 13,7%.

Informationsquellen zu den Emissionsraten

Der 1995 erschienene Statusbericht zum Ersatz von R-12 nennt aufgrund einer Literatursauswertung für Führerhausklimatisierung eine Emissionsrate von 16,6% - in Anlehnung an die Studie von Öko-Recherche für Greenpeace aus dem gleichen Jahr (15%). Die beiden danach verfassten Studien über Kältemittelverluste von Autoklimaanlagen, die jahrelang im Straßenverkehr genutzt wurden, stammen aus dem Jahr 2001 bzw. 2003 (Öko-Recherche 2001 u. Öko-Recherche/Ecofys 2003). Darin wurde eine laufende jährliche Emissionsrate von 10% festgestellt, die sich aus ca. 7%

für regulären Kältemittelverlust und ca. 3% für irregulären durch Unfälle, mechanische Beschädigungen durch Steinschlag usw. zusammensetzt. Die beiden Studien konzentrieren sich auf Pkw, enthalten aber auch Daten zu Fahrzeugen, die auch als Nfz zugelassen werden könnten wie VW-Transporter.

Besondere Studien zu Emissionen aus Lkw-Klimaanlagen lagen bis 2003 nicht vor, abgesehen von einer Messung der Emissionen von 28 meist großen Fahrzeugen, die zwei Tage in geschlossenem Raum standen (Siegl 2002). Der hochgerechnete Messwert von ca. 30 g/a (Mittelwert) ist leider nicht auf Füllmengen bezogen, noch wurden andere Betriebszustände oder gar Havarien erfasst. Die hier verwendeten 15% für mittelschwere und schwere Lkw gründen auf Plausibilität, dass die höhere Belastung der Klimaanlage in schwereren Lkw zu einer um etwa 5% höheren Verlustrate führt als im Falle von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen.

Schriftliche Quellen

- FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Ersatz von R 12 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Statusbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Hannover, November 1995. S. 96.
- Öko-Recherche, Keine Entwarnung für Ozonschicht und Erdklima. Verbrauchsprognose 1995 für FCKW, H-FCKW und FKW (Greenpeace-Studie), Hamburg 1995, S.14.
<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/keine-entwarnung.pdf>.
- Öko-Recherche (Winfried Schwarz): Emissionen des Kältemittels R-134a aus mobilen Klimaanlagen. Jährliche Emissionsraten von bis zu sieben Jahre alten Pkw-Klimaanlagen, Gutachten für das Umweltbundesamt Berlin (FKZ 360 09 006), Frankfurt 2001. <http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/vollR134a.pdf>.
- Siegl, W.O. and T.J. Wallington et al., R-134a Emissions from Vehicles, ENVIRON. SCI & TECHNOL., VOL. 36, 561-566 (2002).
- Öko-Recherche (Winfried Schwarz)/Ecofys (Jochen Harnisch): Establishing the Leakage Rates of Mobile Air Conditioners. Report on the EU Commission (DG Environment). B4-3040/2002/337136/MAR/C1. Frankfurt/Nürnberg 2003.
http://www.oekorecherche.de/english/berichte/volltext/leakage_rates.pdf.

5. Laufende HFKW-Emissionen vom Bestand

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER_{op}) an den durch Aufsummierung der jährlichen Neuzugänge (In_{bank}) erhaltenen mittleren Bestand (B_n) jenes Jahres (vgl. Abschnitt 2):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei einer ER von 10% bzw. 15% für Lkw-Klimaanlagen ist die Gleichung der lfd. Emissionen:

ER_{op} (10%, 15%)	x	B_n
----------------------	---	-------

Tab. 5 zeigt die jährlichen 134a-Emissionen aus dem mittleren Bestand in t/a.

Tab. 5: Laufende Emissionen aus dem HFKW-Bestand von Lkw-Klimaanlagen nach Nutzlastklassen seit 1995 (t/a)

Nutzlastklasse	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
< 1,5 t	0,8	1,4	2,4	3,9	5,8	7,7	9,9	12,4
1,5 t – > 7,5 t	3,3	6,4	10,0	15,1	22,2	30,6	39,0	46,8
Gesamt	4,1	7,8	12,4	19,0	28,0	38,3	48,9	59,2

Quelle: Berechnung aus den Daten der Tab. 4 und den ER 10% (<1,5 t) und 15% (>1,5 t).

Kommentar

Die Emissionen entwickeln sich seit 1995 konstant aufwärts, proportional zum Wachstum des Bestands in den Klimaanlagen. Da dieser, wenn die Entwicklung weitergeht wie bisher, noch bis nach 2020 anwachsen dürfte (auf 1.670 t), werden auch die Emissionen erst dann ihren Höchststand erreichen, bei rechnerisch 212 t.

6. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Die Exaktheit der KBA-Statistik über die Neuzulassungen nach Nutzlastklassen wird nicht angezweifelt. Die Datensicherheit ist auch sehr hoch bei den direkten Meldungen der Hersteller DaimlerChrysler, VW und Renault für (1) ihre im Inland abgesetzten Lkw nach Modellen insgesamt, (2) nach Modellen mit Klimaanlagen und (3) nach Füllmengen der Modelle.

Im Unterschied zu Pkw-Klimaanlagen werden bei Lkw allerdings nur Teilmengen der im Inland jährlich neu zugelassenen klimatisierten Fahrzeuge direkt bei Herstellern erfragt. Die Teilmengen umfassen, je nach Nutzlastklasse und Bezugsjahr, zwischen 22% (Minimum) und 62% (Maximum) der lt. KBA-Statistik neuzugelassenen Lkw.

Dass die nur hochgerechneten, nicht direkt erfragten übrigen Lkw in Bezug auf AC-Quote und -Füllmenge mit den Klimaanlagen-Daten der direkt bei DaimlerChrysler, VW und Renault erfragten Lkw übereinstimmen, ist nur eine mehr oder weniger plausible Annahme. Diese wurde von ÖR nach Rücksprache mit den oben ("Informationsquellen für die Aktivitätsdaten") angeführten Experten der beiden deutschen Hersteller gemacht. Eine Abweichung der wirklichen AC-Quoten von denjenigen ihrer Modelle wird von diesen Experten im Bereich von $\pm 10\%$ für möglich gehalten, wobei sie die Richtung der Abweichung eher nach unten vermuten.

Emissionsraten. Die Rate von 10% für laufende Emissionen aus Klimaanlagen von leichten Nutzfahrzeugen kann wegen der Bauart-Verwandtschaft mit Pkws als ebenso solide gelten wie die jüngst im Auftrag des UBA und der EU für Pkw-Anlagen der Baujahre 1995 bis 2001 empirisch und statistisch ermittelte Rate (statistische Abweichung weniger als $\pm 1\%$ bei einem Konfidenzintervall von 95%).

Zu den "eigentlichen" Lkw, d. i. den Nutzfahrzeugen für Nutzlasten über 1,5 t und erst recht für Nutzlasten über 7,5 t, liegen keine Untersuchungen der relativen Kältemittelverluste von Klimaanlagen vor. Der Zuschlag von 5% auf die 10% laufenden Emissionen aus gängigen Autoklimaanlagen gründet sich auf Plausibilität: dass nämlich die höhere physische Beanspruchung des Fahrzeugs und der Klimaanlage sowie die größere Länge der (flexiblen) Leitungen auch höhere Kältemittelemissionen verursacht.

7. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Die Emissionen aus Autoklimaanlagen im Allgemeinen werden in IPCC GPG unter "3.7.5 Mobile air-conditioning sub-source category" behandelt. Zu Besonderheiten der Mobile Air Conditioners (MACs) von "trucks" gibt es keine Ausführungen. ÖR folgt generell der Anforderungsstufe, die in Box 3 des Decision Tree for Actual Emissions formuliert wird: "Calculate emissions by vehicle class and age, using country-specific bottom-up emission factors."

In Gleichung 3.49 ist die Bestimmung der Operating Emissions wie folgt dargestellt:

$\text{Operating Emissions} = (\text{Amount of HFC-134a Stock in year } t) \times (x/100).$

Dabei ist $x/100$ der Emissionsfaktor. Als Standard (updated default emission rate) werden 10-20% angegeben, in deren Rahmen sich auch der von ÖR benutzte Mittelwert von 13,6%-13,7% bewegt. Die average vehicle lifetime wird in IPCC GPG mit 12 Jahren als default value angegeben. Diesen Wert benutzt auch ÖR.

8. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, worin die Daten zu lfd. Emissionen von HFC-134a aus Lkw-Klimaanlagen primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihe 85, Spalten C und I.

II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

9. Aktivitätsdaten II

Das CRF verlangt die Abschätzung von inländischem Neuverbrauch für die Herstellung (C_{manu}) und dem bei der Befüllung entstehenden Verlust von HFKW. Der inl. Verbrauch wiederum richtet sich nicht nach den im Inland zugelassenen, sondern produzierten klimatisierten Fahrzeugen, die nicht amtlich erhoben werden.

Der Verband der Automobilindustrie (VDA) publiziert jährlich für das Vorjahr die Inlandsproduktion von Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen. Die Fahrzeuge werden nach zulässigem Gesamtgewicht (zul. GG) untergliedert, nicht nach Nutzlasten. Mit gewissen Einschränkungen entspricht der leichten Nutzlastklasse ein zul. GG bis 6 t, mittelschweren Nutzlastklassen ein zul. GG von 6-16 t. Schwere Lkw entsprechen beim zul. GG den Fahrzeugen über 16 t. Tab. 6 zeigt die Produktion.

Tab. 6: Inl. Produktion von Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen nach zulässigem Gesamtgewicht in Stück 1995-2002								
Gewichtsklasse	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
< 6 t GG	173.778	189.942	211.965	224.769	223.651	238.593	246.416	212.358
6-16 t GGt	41.371	35.711	40.813	44.903	44.761	35.724	30.255	26.810
> 16 t GG	82.190	67.320	80.559	96.016	97.931	106.862	101.878	97.158
Gesamt	297.339	298.075	337.427	365.688	366.343	381.179	378.549	336.326

Quelle: VDA - Tatsachen und Zahlen, 59. - 67. Folge, Frankfurt am Main.

Mangels spezieller Daten zur Klimatisierung der inländischen Produktion werden hilfsweise die Klimaquoten und Füllmengen der inländischen Neuzulassungen eingesetzt. Mit den oben in Tab. 2 aufgeführten Daten verknüpft, ergeben sich hilfsweise Größen für Stückzahl, mittlere Füllmenge und HFKW-Neuverbrauch für die im Inland eingebauten Lkw-Klimaanlagen.

Diese Stellvertreter-Daten sind in Tab. 7 eingetragen, und zwar zusammen mit den Befüllemmissionen in kg, die sich ergeben, wenn pro Neuanlage ein Verlust von 2 Gramm unterstellt wird.

10. Emissionen pro Befüllung

Die für Pkw-Klimaanlagen ermittelten 2 Gramm werden als Standard-Wert für Kfz-Klimaanlagen vergleichbarer Größe genommen.

Tab. 7: Im Inland eingebaute Lkw-Klimaanlagen nach Stückzahl, Füllmenge, HFKW-Verbrauch, Verlust pro Befüllung (in Gramm) und Befüllemmission in kg 1995-2002								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Zahl der Lkw-AC	39.615	41.781	64.940	92.631	106.444	119.989	134.318	133.761
Mittlere Füllung	1,14 kg	1,12 kg	1,10 kg	1,09 kg	1,09 kg	1,09 kg	1,08 kg	1,07 kg
Inl. Verbrauch t	45,0	46,7	71,7	101,1	115,8	131,2	145,2	143,8
Verlust pro AC g	2	2	2	2	2	2	2	2
Befüllemiss. in kg	79	84	130	185	213	240	269	268

Quelle: Berechnungen aufgrund der vorherigen Daten.

11. Emissionsfaktor der Befüllung

Die Befüllungsemissionen liegen im Bereich weniger hundert Kilogramm. Wird der Befüllverlust auf die eingefüllten HFKW (inländ. Verbrauch) bezogen, kann ein impliziter Emissionsfaktor errechnet werden. Er lag 1995 bei 0,175% und 2002 bei 0,186%. Der geringe Anstieg hat mit der Zunahme kleinerer Klimaanlagen zu tun.

12. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle II

Die Datensicherheit bei den für die Befüllung relevanten Aktivitätsdaten gründet grundsätzlich auf der Datensicherheit der Aktivitätsdaten, die auch den laufenden Emissionen zugrunde liegen. Zwar sind die produzierten Lkw statistisch höchst zuverlässig erfasst. Aber es kommen Unsicherheiten für die Abschätzung des inländischen HFKW-Neuverbrauchs und der Anzahl der verbauten Klimaanlagen dadurch zustande, dass Füllmengen und Klimaquoten nicht direkt ermittelt, sondern durch Übertragung von den Neuzulassungen auf die inländ. Produktionsmengen gewonnen werden. Eine top-down-Kontrolle, d.h. ein Abgleich des ermittelten Neuverbrauchs mit den HFKW-Einkäufen der Hersteller (DaimlerChrysler, MAN, VW oder Ford) erfolgte bisher nicht.

Der Emissionsfaktor (EF_{manu}) 2 g/Neuanlage ist für Pkw ein recht zuverlässiger Wert. Da der Füllprozess sich nicht von demjenigen der Pkw-Klimaanlagen unterscheidet, gilt grundsätzlich die gleiche Datenqualität wie bei Pkw-Klimaanlagen.

13. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Die First-Fill emission rate für MACs im IPCC GPG ist wie die anderen default emission parameters in Table 3.23 ganz auf Pkw abgestimmt. Für sonstige mobile Klimaanlagen gibt die aktuelle Fassung des GPG noch keine Orientierung.

14. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emissions from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1. Die Daten für 134a werden in Reihe 85 eingetragen, und zwar in die Spalten B und H.

F-Gas-Blatt 11 Bus-Klimaanlagen

F-Gas	HFKW 134a
Anwendung	Bus-Klimaanlagen
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen

Hintergrund

Der Bestand an Kraftomnibussen bewegt sich seit 1994 relativ konstant um 85.000 Stück, die jährlichen Neuzulassungen schwanken um 6.000. Die Klimatisierung ist von einem recht hohen Ausgangsniveau, nämlich 36% in 1993, bis 2002 stetig weiter gestiegen, und zwar auf etwa 70%. Die Betrachtung nach den im Omnibusbau gängigen drei Unterkategorien zeigt ein differenzierteres Bild: Linienbusse weisen in 2002 erst 38% AC-Quote auf; Überlandbusse sind zu 70% klimatisiert. Reisebusse wurden dagegen schon 1999 zu 100% mit einer Klimaanlage ausgestattet.

Die Füllmengen der ACs der Kraftomnibusse sind je nach Busgröße mit 8 bis 25 kg (durchschnittlich 12 kg) HFKW-134a recht hoch. Dies ist konstruktionsbedingt: Der Verdichter ist in Motornähe im Heck verbaut, Kondensator und Verdampfer sind in der Regel auf dem Dach (mitunter auch im Heck), und bei größeren Fahrzeugen kommt noch eine klimatisierte Frontbox dazu. Vom Heck führen 20 und mehr Meter lange Kältemittelleitungen durch das gesamte Fahrzeug, um alle Fahrgastplätze und den Fahrer mit temperierter Luft zu versorgen. Die langen, oft flexiblen, Kältemittelleitungen mit ihren Verbindungen stellen gegenüber Pkw-Klimaanlagen ein zusätzliches Risiko für Kältemittelaustritt dar.

Seit 2001 werden von den beiden Marktführern in Deutschland, den Herstellern EvoBus (Setra) und NEOMAN (MAN) für Reisebusse Klimaanlagen mit Kaltwassersätzen angeboten, bei denen nur der Primärkreislauf mit HFKW-Kältemittel betrieben wird. Dessen Einsatzmenge konnte dadurch auf unter 7 kg reduziert werden. Etwa 25% aller neuen Reisebusse werden mit solchen ACs ausgeliefert.

I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

1 Aktivitätsdaten I. Jährlicher HFKW-Neuzugang im Inland

1.a Die jährlichen Neuzulassungen von Bussen nach Einsatzzwecken

Die Zahl der jährlich neuzugelassenen Kraftomnibusse wird vom KBA für das Vorjahr veröffentlicht. Eine Untergliederung der Busse nach Kategorien, die für die Klimatisierung relevant sind, erfolgt dort nicht. Eine quantitative Untergliederung der jährlichen Neuzulassungen nach den im Omnibusbau gängigen drei Einsatzzwecken ist mit Hilfe von Branchenexperten möglich. Denen zufolge teilt sich der Markt seit mehreren Jahren relativ konstant in 40% Linienbusse, 20% Überlandbusse und 40% Reisebusse auf. Tab. 1 gibt neben der Gesamtzahl der jährlichen Neuzulassungen (untere Zeile) zugleich die Aufteilung in die drei Unterkategorien im Verhältnis 40/20/40 wieder.

Tab. 1: Neuzulassungen von Bussen nach Einsatzzwecken 1993-2002										
Einsatzzweck	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Linienbus	3.072	2.474	2.141	2.350	2.206	2.321	2.528	2.537	2.448	2.295
2. Überlandbus	1.536	1.237	1.070	1.175	1.103	1.160	1.264	1.269	1.224	1.147
3. Reisebus	3.072	2.474	2.141	2.350	2.206	2.321	2.528	2.537	2.448	2.295
Gesamt	7.679	6.184	5.352	5.876	5.514	5.802	6.321	6.343	6.121	5.737

Quellen: KBA, Statistische Mitteilungen, Reihe 3, Kraftfahrzeuge, div. Jahressbände (für die Gesamtzahl). Abschätzung der Experten von EvoBus u. NEOMAN (für die Untergliederung).

Seit 1993, dem ersten Jahr des generellen Einsatzes des Kältemittels HFKW-134a, schwanken die jährlichen Zulassungen neuer Busse zwischen 7,7 und 5,5 Tsd.

1.b Das Kältemittel-Modell für Busklimaanlagen

Die jährliche Kältemittelfüllmenge ist in jeder der drei Buskategorien außer von den Neuzulassungen lt. Tab. 1 von zwei Faktoren abhängig: 1. der Klimaquote (AC-Quote) und 2. der spezifischen Kältemittelfüllung in jeder Kategorie. Tab. 2 enthält diese Zusatzinformationen: in den Zeilen 1-3 die AC-Quoten der drei Busklassen, in Zeile 4 die zusammengefasste (gewichtete) AC-Quote für alle drei Klassen und in der letzten Zeile die Füllmenge, die bis 2000 generell 12 kg betrug. Eine Veränderung der Füllung bei Reisebussen seit 2001 wird unter der Tab.2 erläutert.

Tab. 2: AC-Quoten und Füllmengen nach Bus-Einsatzzweck 1993-2002										
AC-Quote	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Linienbus	5%	9%	14%	18%	23%	27%	30%	33%	35%	42%
2. Überlandb.	10%	18%	26%	34%	42%	50%	55%	60%	65%	70%
3. Reisebus	80%	90%	95%	96%	97%	98%	100%	100%	100%	100%
4. Alle Busse	36%	43%	49%	52%	56%	60%	63%	65%	67%	71%
Füllmenge	12 kg	12 kg	12 kg	12 kg	12 kg	12 kg	12 kg	12 kg	11,2 kg*	11,2 kg*

Quelle: Siehe Abschnitt 2.

* Seit 2001 werden von den beiden Marktführern EvoBus und NEOMAN für Reisebusse ACs mit Kaltwassersätzen angeboten, bei denen nur der Primärkreislauf mit Kältemittel betrieben wird. Dessen Füllmenge wurde dadurch auf < 7 kg reduziert. 25% der neuen Reisebusse werden so ausgerüstet. Die mittlere AC-Füllmenge sank so bei Reisebussen auf 10,6 kg, die aller Busse auf 11,2 kg.

1.c Der jährliche HFKW-Zugang durch neue Busklimaanlagen für das Inland

Der jährliche Neuzugang (In_{bank}) des Kältemittels 134a im Jahr n ergibt sich in zwei Schritten. Erstens durch Gewichtung der Stückzahl der Busse in einer bestimmten Kategorie des Jahres n (Tab. 1) mit der AC-Quote in der fraglichen Einsatzklasse des Jahres n (gemäß Tab. 2, Z. 1-3). Zweitens: Multiplikation der AC-Quoten-gewichteten Stückzahl mit der entsprechenden Füllmenge in kg (gem. Tab. 2, Z. 4). Die letztere beträgt generell 12 kg, lediglich in Reisebussen ab 2001 liegt sie bei 10,6 kg. Auf diese Weise leitet sich der HFKW-Neuzugang (In_{bank}) lt. Tab. 3 ab.

Tab. 3: Jährlicher HFKW-Neuzugang durch inländische Busklimaanlagen ab 1993 in t/a										
Einsatzzweck	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Linienbus	1,8	2,8	3,5	5,1	6,0	7,5	9,1	10,0	10,3	11,6
2. Überlandb.	1,8	2,7	3,3	4,8	5,6	7,0	8,3	9,1	9,5	9,6
3. Reisebus	29,5	26,7	24,4	27,1	25,7	27,3	30,3	30,4	26,0	24,4
Alle Busse	33,2	32,2	31,3	37,0*	37,2**	41,8	47,8	49,6	45,8	45,6

Quellen: Tab. 1 und Tab. 2. * nach Korrektur (1.d) 48,0 t. ** nach Korrektur (1.d) 48,2 t.

1.d Zusätzlicher Zugang durch R-12-Ersatz 1996 und 1997 (Korrektur v. Tab. 3)

Der HFKW-Neuzugang durch inl. Busklimaanlagen war in den Jahren 1996 und 1997 höher als in Tab. 3 dargestellt. In beiden Jahren wurden jeweils 11 t HFKW-134a zusätzlich benutzt, um in insgesamt 1.800 Altanlagen den Austausch von R-12 vorzunehmen. Dies geschah trotz hoher Kosten von bis zu 10.000 DM. Eine Untergliederung nach Buskategorien liegt nicht vor, ist aber für nachfolgende Bestands- und Emissionsermittlung auch nicht erforderlich. Die ersten 11 der 22 t in Altanlagen scheiden im Jahr 2003 aus dem Bestand wieder aus (Entsorgung).

In der letzten Zeile von Tab. 3 muss im Jahr 1996 der Betrag von 37,0 auf 48,0 t und im Jahr 1997 von 37,2 auf 48,2 t erhöht werden (s. Unterzeile unter Tab. 3).

2. Der HFKW-Bestand in Busklimaanlagen

Der HFKW-Endbestand eines Jahres (EB_n) in Bus-ACs erhöht sich jährlich um den Neuzugang im Inland (In_{bank}), solange keine Abgänge vorkommen, was bei einer Lebensdauer von 12 Jahren bis 2002 noch nicht systematisch der Fall war.

Der mittlere Jahres-Bestand (B_n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres $n-1$ und des aktuellen Jahres n . Als Formel:

$\text{B}_n = \frac{\text{EB}_{n-1} + \text{EB}_n}{2}$	wobei	$\text{EB}_n = \text{EB}_{n-1} + \text{In}_{\text{bank } n}$
--	-------	--

Der mittlere Jahresbestand (B_n) wird nachfolgend nicht mehr nach Einsatzzwecken der Busse unterschieden, da alle Busklimaanlagen gleiches Emissionsverhalten aufweisen. Es zeigt sich in Tab. 4 die Zeitreihe für den mittleren Bestand seit 1995:

Tab. 4: Mittlerer HFKW-Bestand in allen Busklimaanlagen seit 1995 in t*								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Alle Busse	81,0	120,6	168,8	213,7	258,5	307,2	355,0	400,7

Quelle: Berechnung auf Basis der Daten von Abschnitt 1.

* einschließlich 22 t für den R-12-Ersatz in Altanlagen.

Kommentar zur Zeitreihe

Die Klimaquoten (Tab. 2) und die mittleren HFKW-Bestände (Tab. 4) zeigen eine klare Tendenz aufwärts, der HFKW-Zugang in Neuzulassungen (Tab. 3) dagegen einen recht uneinheitlichen Verlauf. Hauptgrund für die hohen Zugänge in den Jahren 1996 und 1997 ist der R-12-Ersatz in Altanlagen. Von 1998 bis 2000 war der HFKW-Zugang durch neue Busklimaanlagen normal. In 2001 und 2002 sank er wieder. Hier wirkte sich erstmals die Kältemittelreduktion in Reisebussen mit Kaltwassersätzen aus. Vom Anteil dieses Verfahrens an den neuen Klimaanlagen hängt es ab, ob 134a in Neuzulassungen weiter sinkt oder die 50 t/a-Marke übersteigt.

Der Zeitpunkt möglicher Sättigung der Neufahrzeug-Klimatisierung ist bei den drei Kategorien Linien-, Überland- und Reisebus verschieden. Bei neuen Reisebussen ist die Sättigung von 100% schon 1999 eingetreten (Tab. 2). Bei Überlandbussen dürfte ein Rest von 5% ohne Klimaanlage bleiben. Die 95% können in 2007 erreicht sein. Bei Linienbussen rechnen Experten mit einer Sättigung bei rund zwei Drittel aller Fahrzeuge, eine Quote für Neufahrzeuge, die um 2010 erreicht werden dürfte.

Der mittlere HFKW-Jahres-Bestand dürfte, unter Beachtung der Abgänge nach 12-jähriger Nutzung, für alle drei Busklassen und unter Annahme unveränderten Anteils von Kaltwassersatz-ACs in Reisebussen weiter ansteigen. Sein Maximum würde im Jahr 2022 bei 692 t erreicht. Die lfd. Emissionen beliefen sich dann auf 100 t jährlich.

3. Ermittlung und Informationsquellen der Aktivitätsdaten

Die jährlichen Neuzulassungen stammen aus der Zulassungsstatistik des KBA. Das für die Klimatisierung dieser Busse entscheidende Kältemittel-Modell (Tab. 2) stammt von den beiden Marktführern in Deutschland, der zu DaimlerChrysler gehörenden Firma EvoBus sowie der NEOMAN Bus GmbH, welche die früher getrennten Aktivitäten von MAN und Neoplan vereinigt. Beide Unternehmen machten nicht nur firmenspezifische Angaben, sondern auch Einschätzungen des Gesamtmarktes zu (1) Aufteilung der neuzugelassenen Busse in Linien-, Überland- und Reisebusse, zu (2) den jährlichen AC-Quoten in diesen drei Kategorien und zu (3) den mittleren AC-Füllmengen. Während die AC-Quoten und die Füllmengen alle zwei Jahre überprüft wurden, wurde die Aufteilung nach Buskategorien seit 2001 nicht mehr neu zusammengestellt, wohl aber den Experten (s.u.) zur Plausibilitätskontrolle vorgelegt.

Der Marktanteil der beiden Gruppen DaimlerChrysler und NEOMAN an den im Inland neuzugelassenen Bussen betrug 2002 etwa 86% (KBA-Statistik). Ihre Einschätzung des Gesamtmarkts gründet daher auf einer breiten Geschäftsbasis.

Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Persönliche Mitteilungen

EvoBus GmbH (früher EvoBus Setra GmbH), Ulm, 22.07.98, 12.03.99, 28.10.02, 24.09.03.

NEOPLAN Bus GmbH (früher NEOPLAN Gottlob Auwärter GmbH & Co.), Stuttgart, 05.03.99, 23.09.03.

Schriftliche Quellen

Jörg Peter Kirsamer, Busklimaanlagen – heute und in Zukunft, Vortrag an der FH Karlsruhe, März 1998.

Revolution im Reisebus. Mit der Serienfertigung des Neoplan Euroliner startet eine Klimatechnik, die wartungsärmer und kostengünstiger als bisherige Systeme sein soll, in: Bus Aktuell, Nr. 12/1999, S. 6.

Mayer, Helmut; Technischer Stand der Busklimatisierung, in: Ki Luft- und Kältetechnik 4/1998, 190 ff.

Spezielle Informationen zum R-12-Ersatz bei Bussen

EvoBus GmbH Setra Omnibusse GmbH, Ulm, Schreiben 22.07.98.

MAN Nutzfahrzeuge AG, München, Schreiben 14.07. 98.

Konvekta AG, Schwalmstadt, 22.6.1998.

Sütrak Transportkälte GmbH, Renningen, 17.07. 98.

Webasto Fahrzeugtechnik AG, Stockdorf, 13.07. u. 20.07. 98.

Öko-Recherche: R-12-Ersatz bei Altanlagen von 1996 bis Mitte 1998. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, August 1998.

<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/vollR12.pdf>.

4. Die Rate der laufenden Emissionen

Als Rate der laufenden Emissionen, die sich aus "regulären" und "irregulären" zusammensetzen, gilt bei Kraftomnibussen generell 15% pro Jahr. Ausgehend davon, dass Pkw-Klimaanlagen eine laufende jährliche Emissionsrate von 10% aufweisen, tragen die zusätzlichen 5% dem Umstand Rechnung, dass zur Klimatisierung von Bussen bei Direktverdampfung ein 5-50 Meter langes Leitungssystem (Schläuche, Kupferrohre) für den Fahrgastraum erforderlich ist. Das ist der Hauptgrund, weshalb Branchenexperten die Emissionen "höher als beim Pkw" schätzen (MAN 1999, Webasto 1999, Sonnekalb 2003). Dazu kommt die gegenüber Pkw viel längere jährliche Laufzeit der Anlagen.

Dass bei Anlagen mit Kaltwassersätzen die Länge der HFKW-führenden Leitungen und die Zahl der Anschlüsse reduziert ist, sollte zur Minderung der Emissionen beitragen. Mangels spezifischer Informationen darüber wurde dieser Effekt in den Emissionsschätzungen für 2001 und 2002 noch nicht berücksichtigt. Ebenso wenig werden für die umgerüsteten Altanlagen andere (höhere) Emissionsraten benutzt.

Informationsquellen zur Emissionsrate

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Besondere Studien zu Emissionen aus Bus-Klimaanlagen lagen ÖR nicht vor. Die verwendeten 15% gründen auf Expertenaussagen sowie auf den festgestellten 10% für Pkw und den auf 5% geschätzten zusätzlichen Emissionsrisiken infolge Bauart und langen Laufzeiten von Busklimaanlagen.

Von 1995 stammt ein Wert von 14% für Altanlagen aus dem Statusbericht R-12-Ersatz, der sich einer Schätzung von Öko-Recherche aus dem gleichen Jahr anschloss. Diese älteren Werte werden hier als wenig zuverlässig und für Altanlagen zu niedrig beurteilt.

Persönliche Mitteilungen

Webasto AG, Stockdorf, 12.03.99.

MAN Nutzfahrzeuge AG, München, 10.03.99.

Thermal-Werke – Wärme-, Kälte-, Klimatechnik GmbH, Hockenheim, 09.07.98.
Konvekta AG, Schwalmstadt, 21.11.03.

Schriftliche Quellen

FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Ersatz von R 12 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, Statusbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Hannover, November 1995. S. 97.

Öko-Recherche, Keine Entwarnung für Ozonschicht und Erdklima. Verbrauchsprognose 1995 für FCKW, H-FCKW und FKW (Greenpeace-Studie), Hamburg 1995, S.24.

<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/keine-entwarnung.pdf>.

Öko-Recherche (Winfried Schwarz): Emissionen des Kältemittels R-134a aus mobilen Klimaanlagen. Jährliche Emissionsraten von bis zu sieben Jahre alten Pkw-Klimaanlagen, Gutachten für das Umweltbundesamt Berlin, Frankfurt 2001.

<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/vollR134a.pdf>.

Öko-Recherche (Winfried Schwarz)/ Ecofys (Jochen Harnisch): Establishing the Leakage Rates of Mobile Air Conditioners. Report on the EU Commission (DG Environment). B4-3040/2002/337136/MAR/C1. Frankfurt/Nürnberg 2003.

http://www.oekorecherche.de/english/berichte/volltext/leakage_rates.pdf.

5. Laufende HFKW-Emissionen vom Bestand

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER_{op}) an den durch Aufsummierung der Neuzugänge (incl. R-12-Ersatz) entstandenen mittleren Bestand (B_n) jenes Jahres (vgl. Abschnitt 2):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei einer ER von 15% für die HFKW-haltigen Busklimaanlagen der im Inland zugelassenen Fahrzeuge ergibt sich als Gleichung für die laufenden Emissionen:

ER_{op} (15 %)	x	B_n
------------------	---	-------

Die lfd. jährlichen HFKW-Emissionen aus dem Bestand sind in Tab. 5 in t/a:

Tab. 5: Laufende Emissionen aus dem mittleren HFKW-Bestand in allen Busklimaanlagen seit 1995 in t								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Mittlerer Bestand	81,0	120,6	168,8	213,7	258,5	307,2	355,0	400,7
Laufende Emiss.	12,1	18,1	25,3	32,1	38,8	46,1	53,2	60,1

Quelle: Berechnung auf Basis der vorigen Abschnitte.

Kommentar

Die laufenden Emissionen steigen seit 1995 konstant an, proportional zum wachsenden mittleren HFKW-Jahres-Bestand in den Klimaanlagen. Da dieser, wenn die Entwicklung wie bisher weitergeht, noch bis nach 2021 zunimmt (auf 692 t), erreichen auch die Emissionen erst dann ihren Höchststand, bei rechnerisch 121 t.

6. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Die Datensicherheit der Aktivitätsdaten bei Bus-Klimaanlagen ist nicht nur bei den amtlich erhobenen Neuzulassungen als sehr hoch einzustufen, sondern auch beim Kältemittelmodell (Einteilung nach Einsatzzwecken, AC-Quote der Neuzulassungen in den drei Busklassen, durchschnittliche AC-Füllmenge) zumindest als hoch. Erstens verfügen die beiden Experten aus den direkt befragten Unternehmen über gut geführte eigene Statistiken, zweitens ist der zusammengefasste Marktanteil beider befragter Unternehmen mit über 86% so hoch, dass bei der Hochrechnung auf 100% nur wenig Fehler auftreten können.

Emissionsrate. Die Datensicherheit der Emissionsrate von 15% ist sehr hoch für zwei Drittel ihrer Höhe, nämlich 10% für mobile Klimaanlagen ohne Kältemittel-Leitungssystem in den Fahrgastraum und bei relativ geringer jährlicher Anlagenlaufzeit. Diese Rate ist bei Pkw gemessen worden (statistische Abweichung weniger als $\pm 1\%$ bei einem Konfidenzintervall von 95%). Der Zuschlag von 5% für das Bus-spezifische höhere Emissionsrisiko durch jenes Leitungssystem und die signifikant längere Anlagenlaufzeit gründet zwar auf keiner Messung, scheint für ÖR jedoch in der Größenordnung durchaus robust – mit möglichen Abweichungen nach oben oder unten von maximal 2% ($15\% \pm 2\%$).

7. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Die Emissionen aus mobilen Klimaanlagen im Allgemeinen werden in IPCC GPG unter "3.7.5 Mobile air-conditioning sub-source category" behandelt. Zu Besonderheiten der Mobile Air Conditioners (MACs) von "buses" gibt es keine Ausführungen. ÖR folgt bei Bussen der Anforderungsstufe, die in Box 3 des Decision Tree for Actual Emissions genannt wird: "Calculate emissions by vehicle class and age, using country-specific bottom-up emission factors."

In Gleichung 3.49 ist die Bestimmung der Operating Emissions wie folgt dargestellt:

$\text{Operating Emissions} = (\text{Amount of HFC-134a Stock in year } t) \times (x/100).$

Dabei ist $x/100$ der Emissionsfaktor. Als updated default emission rate werden 10-20% angegeben, in deren Mitte sich auch der von ÖR benutzte Wert von 15% bewegt. Die average vehicle lifetime wird in IPCC GPG mit 12 Jahren als default value angegeben. Diesen Wert benutzt auch ÖR.

8. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu lfd. Emissionen von 134a aus Klimaanlagen von Bussen primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihe 86, Spalte C und I.

II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

9. Aktivitätsdaten II

Das CRF verlangt die Abschätzung von inländischem Neuverbrauch zur Herstellung (C_{manu}) und dem bei der Befüllung entstehenden Verlust von HFKW. Der inl. Neuverbrauch wiederum richtet sich nicht nach den im Inland zugelassenen, sondern den produzierten klimatisierten Fahrzeugen, die amtlich nicht erhoben werden.

Der Verband der Automobilindustrie (VDA) publiziert jährlich für das Vorjahr die Zahl der im Inland neuproduzierten Kraftomnibusse. Deren Klimaquote liegt nicht vor; daher wird hilfsweise die Klimaquote der inl. Neuzulassungen (Tab. 2, Z. 4) eingesetzt. Diese Annahme der Übereinstimmung der Lage bei inländischen Neuzulassungen (von deutschen Herstellern mit Marktanteil 87%) mit der Lage bei der inl. Neuproduktion der gleichen Hersteller wird auch für die Füllmengen gemacht. Lt. Tab. 2 betragen sie 12 kg - bis auf die Jahre 2001 und 2002. Nachfolgende Tab. 6 gibt diese hilfsweisen inl. Ausgangsdaten zur Ermittlung des HFKW-Neuverbrauchs sowie von Befüllemissionen an, und zwar zusammen für alle drei Buskategorien. (Von den Befüllungen von Altanlagen wird wegen Geringfügigkeit der dabei anfallenden Emissionen abgesehen).

Tab. 6: Inländische Produktion von Kraftomnibussen, ihre Klimaquote und mittlere Füllmenge 1995-2002								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Busproduktion	9.888	10.353	11.569	12.985	11.825	13.518	11.940	9.745
AC-Quote	49%	52%	56%	60%	63%	65%	67%	71%
Füllmenge kg	12	12	12	12	12	12	11,2*	11,2*

Quelle: VDA – Tatsachen und Zahlen, 59. - 67. Folge, Frankfurt am Main (Busproduktion).

Tab. 2 für AC-Quoten und Füllmenge bis 2000.

* Die Reduktion der Füllmenge auf 11,2 kg geht auf Reisebusse mit Kaltwassersatz zurück.

Aus den Daten in Tab. 6 lässt sich der jährliche HFKW-Verbrauch für die inländische Befüllung neuer Busklimaanlagen ermitteln ($\text{HFKW-Verbrauch} = \text{Busproduktion} \times \text{AC-Quote} \times \text{Füllmenge}$). Die Werte sind in Tab. 7, Z. 1, eingetragen.

Ebenso lässt sich die Stückzahl der insgesamt im Inland verbauten und befüllten Busklimaanlagen errechnen ($\text{Klimaanlagen-Stückzahl} = \text{Busproduktion} \times \text{AC-Quote}$). Diese Zahl findet sich ebenfalls in Tab. 7 (Zeile 2).

10. Emissionen pro Befüllung

Die für Pkw-Klimaanlagen ermittelten 2 Gramm werden zwar als Orientierungswert für alle Kfz-Klimaanlagen genommen. Allerdings ist die Füllmenge bei Bussen mehr als zehn Mal so groß wie bei Lkw. Daher wird mit 5 Gramm pro Anlage gerechnet.

Tab. 7: Im Inland eingebaute Busklimaanlagen nach HFKW-Verbrauch, Stückzahl, Verlust pro Befüllung (in Gramm) und Befüllemission in kg 1995-2002								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Inl. Verbrauch t	57,8	65,2	78,1	93,5	89,4	105,8	89,4	77,4
Stückzahl AC	4.817	5.433	6.506	7.791	7.450	8.814	8.000	6.899
Verlust in g/AC	5	5	5	5	5	5	5	5
Befüllemiss. in kg	24,1	27,2	32,5	39,0	37,2	44,1	40,0	34,5

Quelle: Berechnungen aufgrund der vorherigen Daten.

11. Emissionsfaktor der Befüllung

Lt. Tab. 7 liegen die Befüllungsemissionen (Em_{manu}) im Bereich zwischen 20 und 40 kg. Wird der Befüllverlust auf die eingefüllten HFKW (C_{manu}) bezogen, kann ein impliziter Emissionsfaktor (EF_{manu}) errechnet werden. Er lag 1995-2000 bei 0,04%, ab 2001 bei 0,05%. Der leichte Anstieg hat mit der Abnahme der Füllmenge auf 11,2 kg zu tun.

12. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle II

Die Datensicherheit bei den für die Befüllung relevanten Aktivitätsdaten gründet auf der Datensicherheit der Aktivitätsdaten, die auch den laufenden Emissionen zugrunde liegen. Zwar sind die produzierten Busse statistisch höchst zuverlässig erfasst. Aber es kommen neue Unsicherheiten für die Abschätzung des inländischen HFKW-Verbrauchs und der Anzahl der verbauten Klimaanlage dadurch zustande, dass Füllmengen und Klimaquoten nicht direkt ermittelt, sondern durch Übertragung von den Neuzulassungen auf die inländ. Produktion gewonnen werden. Die dadurch bedingte Daten-unsicherheit ist angesichts der Geringfügigkeit der absoluten Emissionen unbedeutend.

Der Emissionsfaktor 5 g/Neuanlage ist ein eigener Schätzwert von ÖR, der auf Plausibilität und Vergleichen mit Befüllungen ähnlich großer Anlagen beruht.

13. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Die First-Fill emission rate für MACs im IPCC GPG ist wie die anderen default emission parameters in Table 3.23 ganz auf Pkw abgestimmt. Für sonstige mobile Klimaanlage gibt die aktuelle Fassung des GPG noch keine Orientierung.

14. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emission from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1. Die Daten für 134a werden in Reihe 86 eingetragen, und zwar in die Spalten B und H.

F-Gas-Blatt 12 Landmaschinen-Klimaanlagen

F-Gas	HFKW 134a
Anwendung	Landmaschinen -Klimaanlagen
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen

Hintergrund

Selbstfahrende Maschinen in der Landwirtschaft wurden seit den 90er Jahren immer mehr mit Klimaanlagen ausgerüstet. Zahlenmäßig bedeutsam sind vor allem die Ackerschlepper, von denen jährlich rund 25.000 Stück neu zugelassen werden. Zwischen 1994 und 2002 ist deren AC-Quote von 20% auf 70% gestiegen, wobei größere Traktoren seit etwa 1999 nahezu 100-prozentig mit Klimaanlage ausgeliefert werden. Die Füllmengen sind mit 1,44 kg (Mittelwert) recht groß.

Außer Ackerschleppern werden auch saisonal nutzbare Maschinen mit Klimaanlage ausgerüstet. Das sind jährlich 2.500 - 3.000 Mähdrescher, deren AC-Quote von 1994 bis 2002 von 75% auf 95% beim Inlandsabsatz gestiegen ist. Zweitens jährlich etwa 400 Feldhäcksler, bei denen die Klimatisierung in gleicher Weise verlaufen ist. Auch die AC-Füllmengen sind in diesen beiden Maschinen gleich groß (1,6 kg).

Vor allem Mähdrescher werden nur in den Sommermonaten (Juli bis September) genutzt, den größten Teil des Jahres gar nicht. Lange Stillstandszeiten fördern das Brüchigwerden von Dichtungen und Schläuchen und begünstigen Leckagen nicht weniger als die Volllast während des kurzen Einsatzes.

I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

1. Aktivitätsdaten I. Jährlicher HFKW-Neuzugang im Inland

1.a Die jährlichen Zugänge neuer Landmaschinen in die Landwirtschaft

Seit 1994 werden die Klimaanlage von Traktoren, Mähdreschern und Feldhäckslern mit HFKW-134a befüllt. Traktoren müssen zugelassen werden, so dass das KBA ihre Zahl statistisch erfasst und publiziert. Für Mähdrescher und Feldhäcksler liegen Expertenschätzungen vor. Die drei Zahlenreihen sind in Tab. 1 eingetragen.

Tab. 1: Inländischer Neuzugang von Landmaschinen in Stück 1994-2002									
Landmaschine	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Ackerschlepper	25000	24000	24955	23854	25544	25630	23815	24795	25649
2. Mähdrescher	3000	3000	3000	3304	3421	2465	2489	2500	2500
3. Feldhäcksler	400	400	400	400	400	400	400	400	400

Quellen: Abschn. 3.

1.b Kältemittel-Modell für Landmaschinen-Klimaanlagen

Der verwendete HFKW-Typ ist 134a. Die drei Kategorien von Landmaschinen variieren in Klimaquoten und Füllmengen. Die Werte stammen von Branchenexperten und sind im Modell (Tab. 2) eingetragen. Die AC-Quoten ändern sich von Jahr zu Jahr, die – mittleren – Füllmengen der Anlagen blieben konstant.

Tab. 2: Modell: Füllmengen und AC-Quoten der Landmaschinen-Klimaanlagen 1994-2002										
Landmaschine	Füll- menge	Klimatisierungsquoten in %								
		1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Ackerschlepper	1,44 kg	20%	26%	33%	39%	45%	51%	58%	64%	70%
2. Mähdrescher	1,6 kg	75%	78%	80%	83%	85%	88%	90%	93%	95%
3. Feldhäcksler	1,6 kg	75%	78%	80%	83%	85%	88%	90%	93%	95%

Quellen: Experten, die in Abschn. 3 genannt werden.

Bemerkung: Die Füllmengen sind jeweils über die neun Jahre hinweg konstant geblieben.

1.c HFKW-Zugang durch neue Landmaschinen-Klimaanlagen

Der jährliche Neuzugang (In_{bank}) des Kältemittels 134a im Jahr n ergibt sich durch Kombination von Tab. 1 und 2: durch Gewichtung der Stückzahl neuer Landmaschinen in einer der drei Kategorien nach Tab. 1 mit der entsprechenden Klimaquote nach Tab. 2 und der für die Kategorie typischen Füllmenge (1,44 oder 1,6 kg) nach Tab. 2. Auf diese Weise leitet sich die HFKW-Neumenge lt. Tab. 3 ab.

Tab. 3: HFKW-Neuzugang durch Klimaanlagen von Landmaschinen im Inland 1994-2002 in t/a									
Landmaschine	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Ackerschlepper	7,2	9,1	11,7	13,3	16,6	18,9	19,7	22,8	25,9
2. Mähdrescher	3,6	3,7	3,8	4,4	4,7	3,5	3,6	3,7	3,8
3. Feldhäcksler	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
4. Gesamt	11,3	13,3	16,0	18,2	21,7	22,9	23,9	27,1	30,3

Quellen: Tab. 1 und Tab. 2.

2. Der HFKW-Bestand in Klimaanlagen von Landmaschinen

Der HFKW-Endbestand eines Jahres (EB n) in Klimaanlagen verändert sich jährlich um den Saldo aus Neuzugang (In_{bank} n) und Abgang (De_{bank} n) im Inland. Abgänge kommen bei einer Lebensdauer von 10 Jahren erst 2004 systematisch vor, so dass einstweilen nur Neuzugänge (In_{bank}) zu berücksichtigen sind (De_{bank} = 0).

Der mittlere Jahres-Bestand (B n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres (n-1) und des aktuellen Jahres (n). Als Formel:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2} \quad \text{wobei} \quad EB_n = EB_{n-1} + In_{bank\ n}$

Der mittlere Jahresbestand (B n) wird nachfolgend nicht nach drei Maschinen-Kategorien unterschieden, sondern nur nach Traktoren einerseits und Mähdreschern und Feldhäckslern andererseits. Grund ist das einheitliche Emissionsverhalten von Mähdreschern und Feldhäckslern, das sich von dem der Traktoren unterscheidet. Aus Tab. 3 ergeben sich nach vorstehender Gleichung die mittl. Bestände in Tab 4.

Tab. 4: Mittlerer HFKW-Bestand in Klimaanlagen von Landmaschinen 1995-2002 in t								
Landmaschine	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Ackerschlepper	11,7	22,1	34,6	49,5	67,3	86,6	107,8	132,1
2. Mähdr./Feldhäcksl.	6,2	10,5	15,1	20,1	24,7	28,8	33,1	37,4
3. Gesamt	17,9	32,6	49,7	69,7	92,0	115,4	140,9	169,5

Quelle: Berechnung auf Basis der Daten von Abschnitt 1.

Kommentar zur Zeitreihe

Alle drei landwirtschaftlichen Maschinen zeigen bei mittleren jährlichen HFKW-Beständen einen gleichmäßigen Aufwärtstrend. Die Mengen werden zu 80% durch Ackerschlepper bestimmt. Die Ackerschlepper sind es auch, die den Aufwärtstrend der Neuzugänge (In_{bank}) begründen. Ihre Klimaquote ist von einem relativ niedrigen Ausgangsniveau (20%) innerhalb von acht Jahren auf 70% angestiegen. Bei Traktoren im oberen Leistungsbereich (ab 100 PS) ist bereits seit 2000 eine fast 100-prozentige Klimatisierung neuer Fahrzeuge gegeben. Bei den zahlenmäßig weniger bedeutenden Mähdreschern und Feldhäckslern, die untereinander nicht nur in der Kältemittelfüllung, sondern auch in der AC-Quote übereinstimmen, war im ersten Jahr mit HFKW (1994) die Klimaquote schon 75%, so dass das Erreichen von 95% (2002) keine so hohe Wachstumsdynamik mehr darstellen konnte.

Zwischen 1996 und 1998 ist nicht überdurchschnittlich viel HFKW-Kältemittel befüllt worden. Mit anderen Worten: R-12-Altanlagen wurden so gut wie nicht umgerüstet.

Für Ackerschlepper, deren Lebensdauer auf 10 Jahre kalkuliert wird, ist eine bei 95%-iger Klimatisierung des Bestands denkbare Sättigung im Jahr 2016 erreicht – bei ca. 350 t HFKW. Bei Mähdreschern und Feldhäckslern ist eine Sättigung (95%) des Bestands schon in 2008 möglich – bei 38 bzw. 6 t. Gesamtbestand dann: 395 t.

3. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen I

Das KBA veröffentlicht von den selbstfahrenden Landmaschinen nur die Bestände und Neuzulassungen der Ackerschlepper, sowohl nach Motorleistung als auch nach

Herstellern. Die Daten zur Klimatisierung (jährliche AC-Quote, mittlere Füllmenge) wurden von den drei Marktführern erfragt, die übrigens auch die drei einzigen inländischen Produzenten von Ackerschleppern sind: AGCO (früher Fendt), John Deere und SAME Deutz-Fahr. Ihre Marktanteile in 2002 unter den ca. 30 Anbietern betrugen 23%, 21% und 11%, so dass von den Experten dieser Unternehmen ein zuverlässiger Überblick über den Gesamtmarkt erwartet werden kann.

Inlandsverkäufe von Mähdreschern und Feldhäckslern werden nicht amtlich veröffentlicht (keine Zulassungspflicht). Schätzungen zum Mähdrescherabsatz gab u.a. der Marktführer Claas ab, der nach eigenen Angaben 2002 einen Marktanteil von 47% hatte, gefolgt von John Deere und Deutz-Fahr mit jeweils zwischen 10 und 20%. Bei Feldhäckslern ist die Lage fast genauso: Keine amtlichen Zahlen, aber Angaben (auch zur Klimatisierung) von den beiden Marktführern. Es sind die Firmen Claas mit über 50% und John Deere mit ca. 20% Marktanteil. Die Absatzzahlen für alle Landmaschinen wurden dem Fachverband Landtechnik im VDMA vorgelegt. In einigen Fällen dienten auch diverse Internet-Seiten zur Kontrolle.

In den drei Fällen Ackerschlepper, Mähdrescher und Feldhäcksler wurden keine Hochrechnungen auf Basis firmenspezifischer Einzeldaten gemacht. Vielmehr wurden die von den Marktführern für die jeweiligen gesamten Teilmärkte gegebenen Schätzungen übernommen, da sie ziemlich genau untereinander übereinstimmten.

Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Persönliche Mitteilungen

CLAAS KGaA mbH, Harsewinkel, 23./24.09.03.
 John Deere, Werke Mannheim, 24.09.03.
 AGCO GmbH & Co. OHG, Marktoberdorf, 23.09.03.
 SAME Deutz-Fahr Deutschland GmbH, Lauingen, 06.11.03.
 VDMA, Fachverband Landtechnik, Frankfurt, 06.11.03.

Schriftliche Quellen

CLAAS KGaA mbH, Geschäftsbericht 2002, auf www.claas.com/gb02/de/index.html
 Zum Mähdreschermarkt: Franz Hensen: <http://home.t-online.de/home/hensen/#markt>
 VDMA, Fachverband Landtechnik, Frankfurt. Wirtschaftsbericht 2003.
http://www.vdma.org/vdma_root/www_lav_vdma_de/

4. Die Rate der laufenden Emissionen

Die Rate der lfd. Emissionen liegt für Traktor-Klimaanlagen im Bereich von Lkw-Klimaanlagen, nämlich 15%. Bei Mähdreschern und Feldhäckslern liegt sie bei 25%.

5. Informationsquellen zur lfd. Emissionsrate (Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönliche E-Mail Adressen).

Studien zu Emissionen aus Klimaanlagen in Landmaschinen lagen ÖR nicht vor. Die verwendeten 15% (Traktoren) bzw. 25% (saisonale Landmaschinen) gründen vor allem auf Expertenschätzungen der vier inländischen Marktführer. Die Experten für Mähdrescher und Feldhäcksler räumten ein, dass die ER bei diesen nur wenige Monate im Jahr, dann aber in Vollast, genutzten Fahrzeugen "deutlich höher" als bei Traktoren

liege. 25% wurden von ihnen für "möglich" gehalten und nicht bestritten. Dieser Wert wurde von einem weiteren (externen) Experten für ein Minimum gehalten.

Persönliche Mitteilungen

CLAAS KGaA mbH, Harsewinkel, für Mähdrescher und Feldhäcksler 23./24.09.03.

John Deere, Werke Mannheim, für Ackerschlepper, Mähdrescher und Feldhäcksler 24.09.03.

AGCO GmbH & Co. OHG, Marktoberdorf, für Ackerschlepper 23.09.03

SAME Deutz-Fahr Deutschland GmbH, Lauingen, für Ackerschlepper und Mähdrescher 06.11.03.

Bundesfachschule Kälte-Klima-Technik, Niedersachswerfen, 16.11.02.

6. Laufende HFKW-Emissionen vom Bestand

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER_{op}) an den durch Addition der jährlichen HFKW-Zugänge durch inländische Neuanlagen entstandenen mittleren Bestand (B_n) jenes Jahres (vgl. Abschnitt 2):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei ER von 15% bzw. 25% für Landmaschinen-Klimaanlagen ist die Gleichung der lfd. Emissionen:

ER_{op} (15%, 25%)	x	B_n
----------------------	---	-------

Tab. 5 zeigt die jährlichen 134a-Emissionen aus dem mittleren Bestand in t/a.

Tab. 5: Laufende Emissionen aus dem HFKW-Bestand von Landmaschinen-Klimaanlagen seit 1995 (t/a)								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Ackerschlepper	1,8	3,3	5,2	7,4	10,1	13,0	16,2	19,8
2. Mähdr./Feldhäcksl.	1,0	2,6	3,8	5,0	6,2	7,2	8,3	9,4
3. Gesamt	2,8	5,9	9,0	12,5	16,3	20,2	24,4	29,2

Quelle: Berechnung aus den Daten der Tab. 4 und den Emissionsraten 15% und 25%.

Kommentar

Die laufenden Emissionen steigen seit 1995 konstant an, proportional zum Wachstum des mittleren HFKW-134a-Jahresbestands in den Klimaanlagen aller drei Landmaschinen-Typen. Die zusammengefasste ER für die lfd. Gesamtemissionen von 29,2 t (2002) entsprach 17,3% des mittleren Gesamtbestands. Da dieser, wenn die Entwicklung wie bisher weitergeht, noch bis nach 2016 zunimmt (auf 395 t), erreichen die Emissionen erst dann ihren Höchststand, bei rechnerisch 64 t (16,2%)

7. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Die Datensicherheit der Klimaanlagen-spezifischen Aktivitätsdaten bei Landmaschinen (AC-Quote der Inlandsabsätze für die drei Maschinentypen, mittlere AC-Füllmenge) ist als hoch einzustufen. Die Experten aus den direkt befragten Unternehmen verfügen über gut geführte eigene Statistiken, und zweitens über einen guten Überblick über alle drei Teilmärkte, die im übrigen nicht sehr groß sind. Zu beachten ist, dass die zusammengefassten Marktanteile der Unternehmen, in denen

jene Experten tätig sind, von 55% (Traktoren) über 70% (Feldhäcksler) bis über 80% (Mähdrescher) reichen, so dass eine gewisse Kompetenz für die drei Märkte unterstellt werden kann.

Was die Daten über die Inlandsabsätze der drei Maschinentypen betrifft, so liegt nur bei den Ackerschleppern eine amtliche Erhebung der Neuzulassungen vor. Indessen konnten mithilfe von Experten innerhalb und außerhalb der befragten Unternehmen zuverlässige Absatzdaten auch für Mähdrescher und Feldhäcksler ermittelt werden.

Emissionsrate. Die Emissionsrate von 15% für Traktoren wurde von allen drei angesprochenen Experten der Unternehmen 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.

8. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Die Emissionen aus mobilen Klimaanlage im Allgemeinen werden in IPCC GPG unter "3.7.5 Mobile air-conditioning sub-source category" behandelt. Zu Landmaschinen gibt es keine Ausführungen. ÖR folgt der Anforderungsstufe, die in Box 3 des Decision Tree for Actual Emissions formuliert wird: "Calculate emissions by vehicle class and age, using country-specific bottom-up emission factors."

In Gleichung 3.49 ist die Bestimmung der Operating Emissions wie folgt dargestellt:

$\text{Operating Emissions} = (\text{Amount of HFC-134a Stock in year } t) \times (x/100).$

Dabei ist $x/100$ der Emissionsfaktor. Als updated default emission rate werden 10-20% angegeben, in deren Rahmen sich auch der Wert von 15% für Ackerschlepper bewegt. Bei Mähdreschern und Feldhäckslern liegen die benutzten Emissionsraten begründet darüber. (IPCC-GPG ist eindeutig an Pkw-Klimaanlagen orientiert.) Die average vehicle lifetime wird in IPCC GPG mit 12 Jahren als default value angegeben. Diesen Wert benutzt ÖR für die Landwirtschaft nicht, da alle Experten 10 Jahre Nutzung für durchaus hoch hielten.

9. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, worin die Daten zu lfd. Emissionen von 134a aus Landmaschinen-Klimaanlagen primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihe 87, Spalte C u. I.

II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

10. Aktivitätsdaten II

Das CRF verlangt die Abschätzung von inländischem Neuverbrauch zur Herstellung (C_{manu}) und von bei der Befüllung entstehenden Verlusten von HFKW. Der inl. Verbrauch wiederum richtet sich nicht nach den im Inland zugelassenen, sondern produzierten klimatisierten Fahrzeugen, die nicht amtlich erhoben werden.

Die inländische Produktion von Traktoren wird jährlich vom VDMA (Fachverband Landtechnik) nach Stückzahlen erfasst. Zahlen über produzierte Mähdrescher und Feldhäcksler liegen nur als Expertenschätzungen vor. Diese folgen der Regel: Mähdrescherproduktion "etwa so groß wie der Inlandsmarkt", Produktion von Feldhäckslern "etwa das Doppelte des Inlandsmarkts". Folglich wurden für die Tab. 6 die Werte der Tab. 1 für Mähdrescher unverändert übernommen und für Feldhäcksler verdoppelt. Die Ackerschlepper-Zahlen sind dagegen wirkliche Produktionsziffern.

Tab. 6: Inl. Produktion von Ackerschleppern, Mähdreschern und Feldhäckslern 1995-2002								
Landmaschine	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Ackerschlepper	50.616	53.910	45.758	45.287	43.663	44.975	46.366	53.811
2. Mähdrescher	3.000	3.000	3.304	3.421	2.465	2.489	2.500	2.500
3. Feldhäcksler	800	800	800	800	800	800	800	800

Quelle: VDMA, FV Landtechnik, Frankfurt, Gerd Wiesendorfer, 06.11.03 (Ackerschlepper). Für Mähdrescher und Feldhäcksler s. Abschn. 3 (Teil I).

Mangels spezieller Daten zur Klimatisierung der inländischen Produktion wurden hilfsweise Klimaquoten und Füllmengen der inländischen Neuzugänge (Tab. 2) eingesetzt. Mit den oben in Tab. 2 aufgeführten Daten verknüpft, ergeben sich Stückzahlen und HFKW-Verbrauch für die im Inland eingebauten Landmaschinen-Klimaanlagen.

Diese Daten sind in Tab. 7 eingetragen, zusammen mit den Befüllemmissionen in kg, die sich ergeben, wenn pro Neuanlage ein Verlust von 5 Gramm unterstellt wird.

11. Emissionen pro Befüllung

Für Landmaschinen-Klimaanlagen werden 5 Gramm Verlust beim Befüllvorgang einer Anlage, unabhängig von der Größe, angenommen. Es ist ein Schätzwert von ÖR. Nur 2 g Verlust wie bei automatisierter Befüllung von Pkw-ACs werden bei Landmaschinen aufgrund der niedrigen Stückzahlen nicht für möglich gehalten.

Tab. 7: Im Inland eingebaute Landmaschinen-Klimaanlagen nach HFKW-Verbrauch, Stückzahl, Verlust pro Befüllung (in g) und Befüllemmission in kg u. % 1995-2002								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Inl. Verbrauch t	23,8	30,1	31,0	35,1	36,8	42,0	47,4	59,3
Klimaanlagen St.	16.232	20.561	21.117	23.967	25.234	28.821	32.611	40.803
Verlust pro AC g	5	5	5	5	5	5	5	5
Befüllemiss. in kg	81,2	102,8	105,6	119,8	126,2	144,1	163,1	204,0
Befüllemiss in %	0,34%	0,34%	0,34%	0,34%	0,34%	0,34%	0,34%	0,34%

Quelle: Berechnungen aufgrund der vorherigen Daten.

12. Emissionsfaktor der Befüllung

Die Befüllungsemissionen (Em_{manu}) sind bis 2002 von ca. 80 kg auf über 200 kg gestiegen, weil die Klimaquote der produzierten Landmaschinen zunahm. Bezogen auf den in gleichem Maße gestiegenen Inlandsverbrauch zur Befüllung (59,3 t) ergibt sich aus dem konstanten Befüllverlust von 5 Gramm pro Anlage ein gleichbleibender relativer Wert von 0,34% als (impliziter) Emissionsfaktor (EF_{manu}).

13. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle II

Die Datensicherheit bei den für die Befüllung relevanten Aktivitätsdaten gründet grundsätzlich auf der Datensicherheit der Aktivitätsdaten, die auch den laufenden Emissionen zugrunde liegen. Dies gilt vor allem für die Zahl der jährlich produzierten Mähdrescher und Feldhäcksler. Es kommen weitere Unsicherheiten für die Abschätzung des inländischen HFKW-Verbrauchs und der Anzahl der verbauten Klimaanlage dadurch herein, dass Füllmengen und Klimaquoten nicht direkt ermittelt, sondern durch Übertragung von den Bedingungen des inl. Marktes für neue Landmaschinen auf die inländ. Produktion von Landmaschinen gewonnen werden. Ein Experte eines der drei inländischen Traktorhersteller hielt die AC-Quoten des Inlandmarktes als Maß für die Inlandproduktion für zu niedrig, weil in Deutschland vor allem Traktoren größerer Leistung gefertigt würden, die eine höhere Klimaquote aufweisen als der Durchschnitt. Insofern könnte, so ÖR, die Klimaquote der Produktion in der Realität höher sein und damit auch der HFKW-Verbrauch.

Der Emissionsfaktor 5 g/Neuanlage für die Befüllung ist ein Schätzwert von ÖR mit Unsicherheiten. Er deckt sich mit dem Standardwert der stationären Kältetechnik.

14. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Die First-Fill emission rate für MACs im IPCC GPG ist wie die anderen default emission parameters in Table 3.23 ganz auf Pkw abgestimmt. Für sonstige mobile Klimaanlage gibt die aktuelle Fassung des GPG noch keine Orientierung.

15. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emissions from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1. Die Daten für 134a werden in Reihe 87 eingetragen, und zwar in die Spalten B und H.

F-Gas-Blatt 13 Schiffs-Klimaanlagen

F-Gas	HFKW 134a
Anwendung	Schiffs-Klimaanlagen
Berichtsjahre	1997 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen

Hintergrund und methodische Bemerkungen

Schiffe werden zwar schon lange klimatisiert, jedoch mit HFKW erst ab 1996. 1998 ist das erste Jahr, in dem diese als Kältemittel überwogen. 1996 waren es erst 10%, 1997 etwa 25%. Auch 1998 wurde noch häufig R-22 eingesetzt. Als HFKW-Standard hat sich nach kurzen Versuchen mit R-407C der HFKW-134a etabliert.

Die im Jahr 2002 noch 550 Seeschiffe unter deutscher Flagge mit Bruttoreaumzahl (BRZ) über 100, ob Güter- oder Fahrgastschiffe, sind durchwegs klimatisiert. Auch ca. 50 Marineschiffe sind so ausgerüstet. Bei Binnenschiffen sind die 1.300 Güter- und Tank-Motorschiffe grundsätzlich nicht klimatisiert, dagegen aber Fahrgastschiffe (943 Stück), darunter alle 87 seit 1997 neugebauten.

Fischereifahrzeuge (Hochsee- und Küstenfischfang) haben zwar Kühlvorrichtungen an Bord. Die 12 Fabrikschiffe nutzen allerdings entweder Ammoniak oder HFKW-22. Die Kutterfischer verwenden Scherbeneis, das mit Ammoniakanlagen an Land hergestellt wird (Gretel Flindt, Fischverwertung Heiligenhafen-Neustadt, 04362-6841, 19.07.02).

Zwei methodische Bemerkungen sind zu machen. Erstens: Sowohl See- als auch Binnenschiffe deutscher Reedereien fahren teils unter deutscher und teils unter ausländischer Flagge. Emissionen werden nur für Schiffe unter deutscher Flagge ermittelt. Dies hat auch den praktischen Grund, dass Daten zu ausgeflaggten Schiffen kaum zugänglich sind. Zweitens: Obwohl Emissionen von Seeschiffen unter dt. Flagge zum größten Teil nicht auf deutschem Territorium (Hafen, Küstennähe) vorkommen, sondern in internationalen Gewässern, gelten sie nachfolgend als nationale Emissionen.

I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

1 Aktivitätsdaten I. HFKW-Zugang durch neue klimatisierte Schiffe dt. Flagge

1.a Die jährlichen Zugänge neu gebauter Schiffe unter deutscher Flagge

Alle neu gebauten Seeschiffe, die seit 1997 unter deutsche Flagge kamen, sind klimatisiert: Güter- und Marineschiffe für das Bordpersonal und Fahrgastschiffe auch für die Reisenden. In der Binnenflotte sind Güterschiffe nicht klimatisiert, dagegen sind es die Fahrgastschiffe. Diese gliedern sich in Fahrgast-Tagesschiffe (Ausflugfahrten) und solche mit Kabinen (Fahrgastkabinenschiffe). Die seit 1997 bzw. 1998 der deutschen Flotte zugegangenen Neubauten sind in Tab. 1 eingetragen.

Tab. 1: Neuzugänge neugebauter Schiffe zur See- und Binnenflotte nach Kategorien 1997-2002						
Schiffskategorie	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. See-Güterschiffe	-	22	23	22	21	21
2. See-Fahrgastschiffe	-	1	1	1	1	1
3. Kreuzfahrtschiffe	0	1	0	0	0	0
4. Marine-Schiffe	0	0	0	0	0	1
5. Binnen-Tagesausflg.	15	13	17	10	11	7
6. Binnen-Kabinensch.	0	1	1	3	7	4

Quellen: Abschn. 3. Die Angabe "-" in 1997 heißt, dass HFKW noch nicht eingesetzt wurden.

Kommentar

1. See-Güterschiffe : Im Zeitraum 1998 bis 2002 gingen der Seeflotte 109 neue Güterschiffe zu, nämlich 37 Stückgutfrachter, 66 Containerschiffe und 6 Tanker.

2. See-Fahrgastschiffe incl. Kreuzfahrtschiff

Von 1998 bis 2002 gingen der Seeflotte 6 Schiffe zu, nämlich 1 großes Kreuzfahrtschiff (1998), 3 weitere Fahrgastschiffe und 2 Fähren (Ro-Ro-Frachter).

3. Marine-Schiffe

Seit 1998 werden neue Schiffe (3 Fregatten und 4 U-Boote) gebaut, die erst ab 2004 in Dienst kommen. Nur 1 Fregatte (Klasse 124) wurde August 2001 so weit fertig, dass sie seither Probefahrten macht.

4. Binnen-Fahrgastschiffe

Neuzugänge bei den Tagesausflugschiffen betrugen 73 Stück ab 1997 (Bestand: 851 in 1996). Kabinenschiffe, von denen es 1997 erst 18 gab, sind von 1998 bis 2002 um 16 Neubauten gestiegen.

1.b Kältemittel-Modell für Schiffs-Klimaanlagen

Die Kältemittelfüllungen unterscheiden sich nach Schiffskategorien. Standard-Kältemittel ist 134a. (Von Kältemitteln für Proviantkälteanlagen, die häufig mit 404A betrieben werden, wird hier abgesehen, da es sich nicht um Klimaanlagen handelt und auch ihre Füllmengen mit 2 bis 8 kg nicht ins Gewicht fallen). Die Befragung von Experten der beiden in Deutschland führenden Ausrüster mit Schiffsklimaanlagen York und Noske-Kaeser führte zu dem in Tab. 2 dargestellten Kältemittelmodell. Zu beachten ist, dass alle angeführten neuen Schiffe klimatisiert sind, die AC-Quote mithin 100% beträgt. Dies ist in der Tabelle nicht gesondert vermerkt.

Tab. 2: Kältemittel-Modell für Klimaanlagen bei neugebauten Schiffen für die deutsche See- und Binnenflotte		
Schiffskategorie	Standard-Kältemittel	Standard-Füllmenge kg
1. See-Güterschiff	134a	100
2. See-Fahrgastschiff	134a	250
3. Kreuzfahrtschiff*	134a	1000
4. Marine-Schiff	134a	500
5. Binnen-Tagesausflugschiff.	134a	100
6. Binnen-Kabinenschiff	134a	250

Quellen: Branchenexperten von York und Noske-Kaeser, die in Abschn. 3 genannt sind.

* "MS-Deutschland" der Reederei Deilmann mit BRZ von 23.000: 1000 kg in Turboanlagen.

1.c HFKW-Zugang in neuen Schiffsklimaanlagen (Schiffe unter dt. Flagge)

Der jährliche Neuzugang (In_{bank}) des Kältemittels 134a im Jahr n ergibt sich durch Kombination von Tab. 1 und 2: durch Gewichtung der Stückzahl von Neubauten in einer der sechs Schiffskategorien nach Tab. 1 mit der entsprechenden Füllmenge in kg nach Tab. 2. Auf diese Weise leitet sich der HFKW-Neuzugang lt. Tab. 3 ab.

Tab. 3: HFKW-Neuzugang in Klimaanlagen neugebauter Schiffe für die dt. See- und Binnenflotte nach Kategorien 1997-2002 in t/a						
Schiffskategorie	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. See-Güterschiffe	-	2,20	2,30	2,20	2,10	2,10
2. See-Fahrgastschiffe	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
3. Kreuzfahrtschiff	-	1,00	0	0	0	0
4. Marine-Schiffe	-	0	0	0	0	0,50
5. Binnen-Tagesausflg.	1,50	1,30	1,70	1,00	1,10	0,70
6. Binnen-Kabinensch.	0	0,25	0,25	0,75	1,75	1,00
Gesamtmenge in t	1,50	5,00	4,50	4,20	5,20	4,55

Quellen: Tab. 1 und Tab. 2.

2. Der HFKW-Bestand in Schiffsklimaanlagen

Der HFKW-Endbestand eines Jahres (EB_n) in Schiffsklimaanlagen erhöht sich jährlich um den HFKW-Neuzugang ($In_{bank\ n}$), solange keine Abgänge vorkommen, was bei einer Lebensdauer von 25 Jahren bis 2002 nicht systematisch der Fall war.

Der mittlere Jahres-Bestand (B_n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres ($n-1$) und des aktuellen Jahres (n). Als Formel:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2} \quad \text{wobei} \quad EB_n = EB_{n-1} + In_{bank\ n}$

Der mittlere Jahresbestand (B_n) wird nachfolgend nicht mehr nach Schiffskategorien unterschieden, auch nicht nach See- und Binnenschiffen, da alle Schiffsklimaanlagen gleiches Emissionsverhalten aufweisen. Tab. 4 enthält die Zeitreihe für den mittleren Bestand seit 1995 (1997):

Tab. 4: Mittlerer HFKW-Bestand in allen Schiffsklimaanlagen seit 1995 in t								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Alle Schiffe	-	-	0,75	4,00	8,75	13,10	17,80	22,68

Quelle: Berechnung auf Basis der Daten von Abschnitt 1.

Kommentar zur Zeitreihe

Neuzugänge und mittlere Jahresbestände von HFKW sind wegen des späten Umstiegs von HFCKW-22 auf HFKW-134a erst seit 1997 zu verzeichnen. See-Güterschiffe, auf die etwa die Hälfte des jährlichen Kältemittelneuzugangs entfällt, werden zum überwiegenden Teil im Ausland (Fernost) gebaut. Die Menge neuer HFKW in Klimaanlageanlagen von Schiffen, die der deutschen See- und Binnenflotte zugehen, schwankt seit 1998 um 5 t. Der mittlere Bestand stieg seither stetig an. Geht die Entwicklung weiter wie bisher (5 t jährlicher HFKW-Neuzugang), ist wegen der 25-jährigen Lebensdauer der Anlagen noch bis nach 2020 mit wachsendem Bestand auf über 110 t zu rechnen.

3. Ermittlung der Aktivitätsdaten

Die Zahlen zu den Zugängen neuer Seeschiffe unter deutscher Flagge seit 1998 stammen vom Verband deutscher Reeder in Hamburg. Marineschiff-Zugänge sind auf der Homepage der Bundeswehr (Marine) zu finden. Daten zu Neubauten von Fahrgasttages- und Fahrgastkabinenschiffen für die Binnenflotte werden von der Wasser- und Schifffahrts-Direktion Südwest in Mainz erhoben. Sie wurden dort direkt abgefragt.

Die klimaanlagenspezifischen Daten zu Füllmengen nach Schiffstyp und zur Ausrüstungsquote der Schiffstypen stammen von den inländischen Marktführern bei Schiffsklimaanlagen: Noske-Kaeser und York Marine, beide in Hamburg.

Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Daten zur Binnenflotte:

Wasser- und Schifffahrts-Direktion (WSD) Südwest, Mainz, 18.11.03. Wegen Umstellung der Statistik gelten die vorher ermittelten Daten nicht mehr. Diese entstammten:

http://www.elwis.de/Verkehrswirtschaft/schiffbestand/entw_biflo/fahrgastkabinenschiffe.pdf,

http://www.elwis.de/Verkehrswirtschaft/schiffbestand/entw_biflo/fahrgasttagesschiffe.pdf

Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 22.10.02, 07.10.03.

Die Neubauten von Passagierschiffen für die Binnenflotte werden seit 2001 auch im Statistischen Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland (Kap. 13.11) veröffentlicht.

Daten zur Seeflotte

Verband Deutscher Reeder e.V. (VDR), Hamburg www.reederverband.de 06.10.03.

Reederei Peter Deilmann, Neustadt in Holstein www.deilmann-kreuzfahrten.de, 07.10.03.

Daten zur Marine

<http://www.deutschemarine.de/80256B100061BA9B/vwContentFrame/N256DM2T116MMISDE>

http://www.blohmvooss.com/d/prod/frigate_f124.html

Klimaanlagen für Schiffe:

Noske-Kaeser GmbH, Hamburg, 01.07.99, 23.10.02, 23.09.03.

York Industriekälte GmbH & Co. KG, Marine, Hamburg, 23.10.02, 29.09.03.

4. Die Rate der laufenden Emissionen

Die Rate der lfd. Emissionen (ER_{op}) aus R-134a-Klimaanlagen liegt für Schiffe bei 5%.

Umrüstungen von R-12, R-11- oder R-22-Altanlagen sind nicht bekannt, so dass es sich durchweg um neue, auf den HFKW-134a ausgelegte Anlagen handelt. Die Klimaanlagen sind i.d.R. Wasserkühlsätze, d.h. dass in den langen Leitungen Wasser, nicht Kältemittel zirkuliert. Dazu kommt die Laufruhe von Schiffen, die eine deutlich niedrigere Emissionsrate als bei Autoklimaanlagen begünstigt.

5. Informationsquellen zur Emissionsrate (Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönliche E-Mail Adressen).

Studien zu Emissionen aus Klimaanlagen von Schiffen lagen ÖR nicht vor. Die verwendeten 5% gründen auf Expertenschätzung der beiden inländischen Marktführer Noske-Kaeser und York Marine.

Persönliche Mitteilungen

Noske-Kaeser GmbH, Hamburg, 23.09.03.

York Marine, Hamburg, 29.09.03.

6. Die laufenden Emissionen in t seit 1997

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER_{op}) an den durch Addition der HFKW-Neuzugänge entstandenen mittleren Bestand (B_n) jenes Jahres (vgl. Abschnitt 2):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei einer ER von 5% für die HFKW-haltigen Klimaanlagen von Schiffen unter deutscher Flagge ergibt sich als Gleichung für die laufenden Emissionen:

ER_{op} (5 %)	x	B_n
-----------------	---	-------

Die lfd. jährlichen HFKW-Emissionen aus dem Bestand enthält Tab. 5 in t/a:

Tab. 5: Laufende Emissionen aus dem mittleren HFKW-Bestand in allen Schiffsklimaanlagen seit 1995 in t								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Mittlerer Bestand	-	-	0,75	4,00	8,75	13,10	17,80	22,68
Laufende Emiss.	-	-	0,04	0,20	0,44	0,66	0,89	1,13

Quelle: Berechnung auf Basis der vorigen Abschnitte.

Kommentar

Die laufenden Emissionen setzen 1997 auf relativ niedrigem Niveau ein und wachsen proportional zum Anstieg des mittleren HFKW-134a-Jahresbestands in allen Schiffsklimaanlagen. Insgesamt sind die Emissionen nicht hoch, gemessen an anderen mobilen Klimasystemen. Wenn der mittlere jährliche HFKW-Gesamtbestand nach 2020 (2023) seine Sättigung bei ca. 125 t erreicht, werden die laufenden Emissionen ca. 6 t jährlich betragen.

7. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Die Datensicherheit in Bezug auf die Zahl der seit 1997 in neu zugegangenen Schiffen unter deutscher Flagge eingebauten Klimaanlage ist sehr hoch, da eine amtliche bzw. eine ausgezeichnete Verbandsstatistik über jene Schiffe geführt wird. Die Füllmengen für die einzelnen Schiffstypen (100 kg für Güterschiffe, 250 kg für Fahrgastschiffe, 1000 kg für Sondergrößen) sind zwar nur Durchschnittswerte. Allerdings beruhen die Angaben erstens auf den Erfahrungen ausgewiesener Experten, zweitens wurden die Füllmengen unabhängig voneinander von beiden Marktführern gleich hoch geschätzt.

Emissionsraten. Die gleiche hohe Zuverlässigkeit wie für die Füllmengen gilt auch für die Emissionsraten, weil beide Klimaanlageausrüster auch die Wartung vornehmen und damit die Nachfüllmengen beurteilen können.

Gleichwohl könnte der wirkliche Mittelwert auch 4% oder 6% betragen. Für die absolute Höhe der Emissionen wäre der Unterschied allerdings nicht groß.

8. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Die Emissionen aus mobilen Klimaanlage im Allgemeinen werden in IPCC GPG unter "3.7.5 Mobile air-conditioning sub-source category" behandelt. Zu Besonderheiten der Mobile Air Conditioners (MACs) von Schiffen gibt es keine Ausführungen. ÖR folgt der Anforderungsstufe, die in Box 3 des Decision Tree for Actual Emissions formuliert wird: "Calculate emissions by vehicle class and age, using country-specific bottom-up emission factors."

In Gleichung 3.49 ist die Bestimmung der Operating Emissions dargestellt:

$\text{Operating Emissions} = (\text{Amount of HFC-134a Stock in year } t) \times (x/100)$
--

Dabei ist $x/100$ der Emissionsfaktor. Als updated default emission rate werden 10-20% angegeben – orientiert an Autoklimaanlagen. Die von ÖR benutzten Werte für Schiffe liegen darunter. Die durchschnittliche Lebensdauer ist mit 25 Jahren höher.

9. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu laufenden Emissionen von HFC-134a aus mobilen Klimaanlage (Schiffe) primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihe 89, Spalten C und I.

II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

10. Aktivitätsdaten II

Das CRF verlangt die Abschätzung von inländ. Neuverbrauch zur Herstellung (C_{manu}) und den bei der Befüllung entstehenden Verlusten von HFKW. Der inländ. Verbrauch richtet sich nicht nach Schiffen, die unter deutscher Flagge fahren, sondern nach Klimaanlagen, die auf inländischen Werften installiert und befüllt werden, unabhängig von der späteren Flagge des Schiffs. Tab. 6 enthält die Zahl der jährlich auf deutschen Werften gebauten Schiffe, bei denen wegen ihrer Größe bzw. ihrem Verwendungszweck eine Klimatisierung sicher ist. Die Mehrheit der Zahlen wird regelmäßig vom Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V. (VSM) für das Vorjahr veröffentlicht.

Tab. 6: Füllmenge der Klimaanlagen in kg und Zahl der jährlich im Inland fertig gestellten See- und Binnenschiffe (mit Klimaanlagen) seit 1997 in Stück							
Schiffskategorie	Füllmenge in kg	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. See-Güterschiffe	100	76	73	54	49	48	57
2. Kreuzfahrtschiffe	1000	2	2	2	2	2	2
3. Binnen-Ausflugs.	100	15	13	17	10	11	7
4. Binnen-Kabinens.	250	0	1	1	3	7	4

Quellen: Abschn. 13. Erst ab 1997 werden umfassend HFKW zur Klimatisierung eingesetzt.

Aus den Daten in Tab. 6 lässt sich der jährliche inländische HFKW-Verbrauch für die inländische Befüllung neuer Schiffsklimaanlagen ermitteln (HFKW-Verbrauch pro Jahr = Schiffbauten x Füllmenge). Der Verbrauchswert in t ist in Tab. 7 eingetragen.

11. Emissionsfaktor der Befüllung

Bei der Erstbefüllung der Klimaanlagen geht 1% der Verbrauchsmenge verloren. Dem Emissionsfaktor (EF_{manu}) 1% liegt keine feste Verlustmenge pro Befüllvorgang zugrunde, sondern er drückt die Abhängigkeit von der Befüllmenge aus.

Tab. 7 enthält zusätzlich zum jährlichen HFKW-Verbrauch für die inländische Erstbefüllung von Schiffsklimaanlagen (Z. 1) auch den Emissionsfaktor der Befüllung (EF_{manu}) und in Z. 3 die Befüllemissionen (Em_{manu}) in t/a.

12. Inlandsverbrauch und Fertigungsemissionen bei Schiffsklimaanlagen

Inlandsverbrauch zur Befüllung neuer Klimaanlagen und Fertigungsemissionen ergeben sich aus den Daten in Abschn. 10 und 11.

Tab. 7: Inlandsverbrauch, Emissionsfaktor der Befüllung und Fertigungsemissionen bei allen Schiffsklimaanlagen 1997-2002 in t/a						
	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Inlandsverbrauch t	11,1	10,9	9,4	8,7	9,7	9,4
2. Emissionsfaktor %	1	1	1	1	1	1
3. Befüllemission t	0,11	0,11	0,09	0,09	0,10	0,09

Quellen: Tab. 6 und vorstehende Ausführungen.

Inlandsverbrauch und Fertigungsemissionen weisen eine leichte Tendenz nach unten auf, was auf den Rückgang im Neubau von See-Güterschiffen zurückzuführen ist. Deutschland steht zwar an vierter Stelle im Weltschiffbau, sein Anteil daran beträgt aber nur 5 Prozent, weit hinter Japan, Südkorea und der VR China.

13. Ermittlung und Informationsquellen von Aktivitätsdaten/Emissionsfaktor II

Die Schiffsablieferungen deutscher See- und Binnenwerften werden jährlich vom Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V. (VSM) im Geschäftsbericht veröffentlicht. Für vorliegenden Zweck ist vor allem die Aufstellung "Fertiggestellte Schiffe im Weltschiffbau nach Ländern" wichtig, die wiederum Lloyd's Register-Fairplay zur Quelle hat. Denn darin werden nur Seeschiffe über einer BRZ 100 aufgeführt, d. h. von der Größe an, bei der grundsätzlich klimatisiert wird.

Informationen über die jährlich in Deutschland fertig gestellten großen Kreuzfahrtschiffe, die vom VSM nicht gesondert ausgewiesen werden, stammen von der auf solche Schiffe spezialisierten Werft Meyer-Papenburg.

Bei den für Klimatisierung infrage kommenden Binnenschiffen sind die Daten nicht so leicht zugänglich, weil der VSM erst seit 2001 die Gesamtzahl fertiger Schiffe in Fahrgastschiffe/Fähren und sonstige (Frachtschiffe, Schlepper, Polizeiboote, Hafenfahrzeuge usw.) unterteilt. Klimatisierung ist aber nur bei ersteren üblich. Selbst seit 2001 werden die Fahrgastschiffe nicht nach Tagesausflugschiffen und – mit größeren Klimaanlage versehen – Kabinenschiffe unterschieden. Jedoch geht aus der Statistik die niedrige Exportquote im Binnenschiffbau hervor, die zwischen 8 und 15% schwankt (mit anderen Worten: fast 90% der Inlandsbauten gelangen in die Binnenflotte), so dass für die Neubauten hilfsweise die Neuzugänge zur deutschen Binnenflotte (Tagesausflugschiffe und Kabinenschiffe) aus Tab. 1 verwendet werden.

Der Emissionsfaktor der Befüllung (EF_{manu}) wurde bei den Ausrüsterfirmen erfragt.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V. (VSM) www.vsm.de Hamburg, VSM-Jahresberichte 1997 bis 2002. Sie sind alle von www.vsm.de herunterzuladen.
Jos. L. Meyer GmbH www.meyerwerft.de, Papenburg, 28.11.03. Einzelheiten zu großen Passagierschiffen von dieser Werft auf der Homepage.
Noske-Kaeser GmbH, Hamburg, 23.10.02.

14. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle II

Die Datensicherheit bei den für die Befüllung relevanten Aktivitätsdaten gründet auf der Datensicherheit der Aktivitätsdaten, die auch den laufenden Emissionen zugrunde liegen. Dies gilt für die Kategorien und Minimalgrößen von Schiffen, die klimatisiert werden, für den Kältemitteltyp und die Füllmengen. Die jährlichen Neubauzahlen sind für die Seeschiffe sehr zuverlässig, für die Binnenschiffe (Passagierschiffe) nicht in gleicher Weise, da hilfsweise die Neuzugänge zur deutschen Binnenflotte genommen wurden, um den HFKW-Verbrauch zu bestimmen. Der Fehlerspielraum wird auf 1 oder 2 Schiffe jährlich geschätzt, die dadurch ev. nicht erfasst wurden.

Der Emissionsfaktor 1% pro Neubefüllung ist ein Schätzwert des führenden Ausrüsters mit Schiffsklimaanlagen. Solange kein präziserer Wert vorliegt, gilt er als Standard.

15. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Die First-Fill emission rate für MACs im IPCC GPG ist wie die anderen default emission parameters in Table 3.23 ganz auf Pkw abgestimmt. Für sonstige mobile Klimaanlagen gibt die aktuelle Fassung des GPG noch keine Orientierung.

16. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emission from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1. Die Daten für 134a werden in Reihe 89 eingetragen, und zwar in die Spalten B und H.

F-Gas-Blatt 14 Schienenfahrzeug-Klimaanlagen

F-Gas	HFKW 134a
Anwendung	Schienenfahrzeug -Klimaanlagen
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen

Hintergrund

Die Klimatisierung von Reisezugwagen, Lokführerständen und Schlafwagen reicht bei der Dt. Bahn bis in die frühen 80er Jahre zurück. Darum hatte die Dt. Bahn Anfang der 90er Jahre über 3.000 Klimaanlagen von R-12 auf R-134a umzurüsten. Nachdem 1998 diese Aktion beendet war, wurden seitdem praktisch in jedem Jahr zwischen 700 und 900 neue Schienenfahrzeuge mit HFKW-134a-Klimaanlage beschafft, die den Kältemittel-Bestand weiter erhöhten. Klimatisiert wurden neben Fernverkehr- und Regionalzügen immer mehr S-Bahnen in den Großstädten. Diese Tendenz hält an.

Grundsätzlich sind seit 1996/97 alle neuen Fahrzeuge der Dt. Bahn AG sowie der kleineren Betreiberunternehmen mit einer Klimaanlage ausgestattet.

I. Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

1. Aktivitätsdaten I. Der jährliche HFKW-Neuzugang im Inland

1.a Die jährlichen Beschaffungen neuer Schienenfahrzeuge mit AC

Seit 1996 werden neue Schienenfahrzeuge im Bereich der Dt. Bahn praktisch nur noch mit Klimaanlage angeschafft. Tab. 1a enthält in Z. 1 die jährlichen Zahlen für Reisezugwagen (ICE 2, Doppelstockwagen, Diesel-Triebzüge, Elektro-Triebzüge) und in Z. 2 die neuen S-Bahn-Wagen in sieben Großstädten (Schwerpunkt Berlin und Hamburg)¹. Neue Loks spielen kaum eine Rolle (Z. 3). Seit 2000 treten private Betreiber als Käufer auf (Z. 4). Tab. 1a enthält auch die mittleren Füllmengen der ACs in kg, die von 1996-2002 konstant blieben.

Tab. 1a: Inländische Beschaffungen klimatisierter Fahrzeuge durch die Dt. Bahn AG und Private Betreiber 1996-2002 in Stück								
Fahrzeugart	Füllmenge	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Reisezugwagen	18 kg	100	257	486	546	677	755	729
2. S-Bahn-Wagen	10 kg	66	290	350	520	470	504	425
3. Loks	2,2 kg					15	16	8
4. Privatbahnen	18 kg					100	100	100
5. Gesamt		166	547	836	1066	1262	1375	1262

Quellen: Erläuterung in Abschn. 3.

1.b Die Umrüstungen von R12-Altanlagen bei der Dt. Bahn 1991 bis 1998

Gegenüber S-Bahnen, bei denen die Klimatisierung erst in jüngerer Zeit eingesetzt hat, hat die Klimatisierung bei der Eisenbahn lange Tradition: Schon vor der ICE-Ära waren etwa 15% der ca. 15.000 Reisezugwagen und viele Loks mit R-12-Anlagen ausgerüstet. Seit 1991 wurden davon (sowie vom ICE-1) jährlich 200-500 Systeme auf HFKW-134a umgestellt, so dass es Ende 1994 bereits 1.000 HFKW-haltige Anlagen gab mit einem HFKW-Bestand von etwa 16,5 t. Bis 1998 wurde die Umstellung der restlichen 2.500 Altanlagen abgeschlossen. Technisch gesehen kann die Mehrheit der umgestellten Fahrzeuge bis 2005 im Dienst bleiben. Die Umrüstungen sowie die jeweiligen Füllmengen mit 134a sind in Tab. 1b eingetragen.

Tab. 1b: Auf HFKW-134a umgerüstete Altanlagen von Schienenfahrzeugen bei der Dt. Bahn AG 1995-2002 in Stück										
Fahrzeugart	FM	vor 1995	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Reisewagen	18 kg	1.020	500	400	400	320				
2. Schlafwagen	26,3 kg			70	71			- 71*		
3. Triebk./Loks	2,2 kg			412						
4. Gesamt		1.020	500	882	471	320		-71		

Quellen: Erläuterung in Abschn. 3. Die Spalte "vor 1995" gibt nicht die Umrüstungen eines Jahres wieder, sondern fasst die bis Ende 1994 vergangenen 4 Jahre zusammen.

* In 2000 schieden 71 Schlafwagen aus dem Bestand aus (negatives Vorzeichen). Sie wurden nicht entsorgt (keine Entsorgungsemissionen!), sondern nach Rumänien verkauft.

¹ Die wichtigsten Stationen im Fernverkehr (DB Reise & Touristik) sind: 1996-1998 ICE-2 (der ICE-3 erhielt eine luftgestützte Klimaanlage) und 1998-2000 ICE-T und -TD. Die früher nicht übliche Klimatisierung im Nahverkehr (DB Regio) erfolgte 1997 bis 2003 bei 760 Doppelstockwagen, 1997 bis 2003 bei 1.460 Wagen mehrerer VT-Baureihen (Verbrennungstriebzüge) und 1999 bis 2003 bei 700 Wagen von ET-Baureihen (Elektro-Triebzüge). Auch die neuen S-Bahnen in Ballungszentren in Berlin (Baureihe 481) sind seit 1996, in Hamburg (BR 474) seit 1998 und in den Großstädten München, Frankfurt, Stuttgart, Hannover und Düsseldorf (BR 423) seit 2000 mit Klimaanlage versehen.

1.c Die jährliche HFKW-Zugänge in Schienenfahrzeug-Klimaanlagen

Um die jährlichen Zugänge (In_{bank}) des Kältemittels 134a zu berechnen, und zwar getrennt für Neuanlagen und ehemalige R-12-Anlagen, ist (anders als bei Schiffen) kein "Zwischenmodell" der spezifischen AC-Quoten erforderlich. Denn in Tab. 1a und b wurden ausschließlich klimatisierte Fahrzeuge aufgelistet, und zwar bereits zusammen mit den spezifischen Füllmengen. Durch Gewichtung der jährlichen Stückzahlen mit diesen Füllmengen lassen sich – getrennt für Neuanlagen und umgerüstete Altanlagen – die jährlichen Neuzugänge von HFKW-134a ermitteln. Diese Daten enthält Tab. 2.

Tab. 2: Jährlicher HFKW-Zugang durch alte und neue Klimaanlagen von Schienenfahrzeugen bis 2002 in t/a									
Anlagentyp	vor 95	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Neuanlagen			2,5	7,5	12,2	15,0	18,7	20,5	19,2
2. Altanlagen	16,5*	9,0	9,7	8,8	5,8		-1,6		
3. Gesamt	16,5*	9,0	12,2	16,4	18,0	15,0	17,1	20,5	19,2

Quellen: Tab. 1a und Tab. 1b.

* Bestand bis Jahresende 1994.

2. Der HFKW-Bestand in Klimaanlagen von Schienenfahrzeugen

Der inländische HFKW-Endbestand eines Jahres (EB_n) in Klimaanlagen verändert sich um den Saldo aus Zugang ($In_{bank,n}$) und Abgang ($De_{bank,n}$) von HFKW. Abgänge kommen bei einer Lebensdauer von 15 Jahren für Altanlagen erst 2006 (Neuanlagen erst nach 2020 wegen Lebensdauer von 25 Jahren) systematisch vor, so dass einstweilen nur Zugänge (In_{bank}) zu berücksichtigen sind ($De_{bank} = 0$).

Der mittlere Jahres-Bestand (B_n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres ($n-1$) und des Endbestands des aktuellen Jahres (n). Als Formel:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2}$	wobei	$EB_n = EB_{n-1} + In_{bank,n}$
-----------------------------------	-------	---------------------------------

Der mittlere Jahresbestand (B_n) wird nach Alt- und Neuanlagen unterschieden. Grund ist das unterschiedliche Emissionsverhalten beider Anlagentypen. Aus Tab. 2 ergeben sich nach vorstehender Gleichung die mittleren Bestände in Tab 3.

Tab. 3: Mittlerer HFKW-Bestand in Klimaanlagen von Schienenfahrzeugen in Alt- und Neuanlagen 1995-2002 in t/a								
Anlagentyp	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Neuanlagen	0	1,2	6,2	16,1	29,7	46,6	66,2	86,0
2. Altanlagen	21,0	25,8	30,6	37,9	40,8	40,0	39,2	39,2
3. Gesamt	21,0	27,1	36,8	54,0	70,5	86,6	105,4	125,2

Quelle: Berechnung auf Basis der Daten von Abschnitt 1.

Kommentar zur Zeitreihe

Der mittlere Jahresbestand (gesamt) an HFKW-134a entwickelt sich seit 1995 stetig aufwärts. Der Bestand in Altanlagen hat 1999 seinen Höhepunkt erreicht. Im Jahr 2000 wurde er erstmals vom Bestand in Neuanlagen übertroffen. Bei den jährlichen HFKW-Zugängen für Altanlagen ist mit dem Auslaufen des Umrüstprogramms seit 1996 der erwartete Stopp eingetreten. Allerdings ist ein Minus auch beim Zugang für neue Anlagen festzustellen, und zwar seit 2002. Ursache der niedrigeren HFKW-Neumengen ist die rückläufige Zahl jährlicher Neuanschaffungen bei Eisenbahn-Wagen und S-

Bahnen. Sollte ein Beschaffungsniveau von ca. 600 jährlichen Neufahrzeugen anhalten (davon 125 S-Bahn-Wagen), würde der mittlere Bestand in Neuanlagen in 2020 bei 214 t liegen. (Die Altanlagen sind dann ausgemustert.)

3. Ermittlung und Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

Die Zahlen über die Neuanschaffungen und Bestände von Fahrzeugen der Dt. Bahn sind allgemein zugänglichen Quellen, die sich im Internet an zahlreichen Stellen finden (Modelleisenbahner, Eisenbahn-Hobbyisten usw.), und Geschäftsberichten der Dt. Bahn AG entnommen. Die komplizierte Umrüstphase der R-12-Altanlagen wurde von ÖR im Zusammenhang mit einer Studie für das Umweltbundesamt genauer recherchiert und in ihren Resultaten veröffentlicht.

Die für die Klimatisierung alter und neuer Fahrzeuge relevanten Daten (Anzahl und Typ der klimatisierten und umgerüsteten Fahrzeuge pro Jahr, Füllmengen) wurden direkt bei Experten der Dt. Bahn erfragt. Der wichtigste war Klaus Reum von der DB-Hauptverwaltung in Frankfurt am Main.

Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Persönliche Mitteilungen

R-12-Ersatz 1991-1998: Deutsche Bahn AG, 16.07.98.

Öko-Recherche: R-12-Ersatz bei Altanlagen von 1996 bis Mitte 1998. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, August 1998.

<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/vollR12.pdf>.

Neuwagen ab 1996: Deutsche Bahn AG, Hauptverwaltung Frankfurt, 23.07.98, 11.03.99, 24.10.02, 28.10.02, 26.09.03.

Connex Verkehr GmbH, Berlin, 08.09.03

Schriftliche Quellen

A.V. (Andrea Voigt): Kühle Träume mit ISCEON 49. Am 26.3.1998 wurde der 100. Schlafwagen auf ISCEON 49 umgerüstet, in: DIE KÄLTE & Klimatechnik 5/1998, 292-294.

Adolph, Ulrich: Entwicklungsstand und Tendenzen der Klimatisierung von Schienenfahrzeugen, in: Ki Luft- und Kältetechnik 3/1998, 134 ff.

4. Die Rate der laufenden Emissionen

Die Rate der laufenden Emissionen (EF_{op}) aus neuen R-134a-Klimaanlagen liegt für Schienenfahrzeuge bei 15%. Die Emissionsraten umgerüsteter Altanlagen sind deutlich höher und liegen bei mindestens 25%.

5. Informationsquellen zu den Emissionsraten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Studien zu Emissionen aus Klimaanlagen von Schienenfahrzeugen liegen nicht vor. Die hier verwendeten 15% für Neuanlagen gründen auf Schätzung von Experten der Bahn (Klaus Reum DB-Hauptverwaltung), aber auch des Klimaanlagenbaus für Schienenfahrzeuge. Letztere (Michael Sonnekalb, Ulrich Adolph) verweisen auf die extrem harten Erschütterungen, denen die Klimaanlagen (ob Kompakt- oder Splitanlagen) und ihre Kältemittelleitungen durch den Fahrgastraum wegen des

Fahrzeuglaufs auf Metallschienen ausgesetzt sind, was sich besonders bei hohem Tempo leakagefördernd auswirkt. Sie halten 15% für einen "optimistischen" Wert.

Für Altanlagen wurden lt. Adolph Anfang der 90er Jahre noch rd. 60% jährliche Verluste ermittelt, und zwar anhand der dokumentierten jährlichen R-12-Nachfüllmengen eines großen Eisenbahn-Wartungsbetriebs. Diese Werte sind mittlerweile dank sorgfältigeren Umgangs mit 134a nicht mehr aktuell. Allerdings sind die Altanlagen nicht so dicht wie die speziell für 134a ausgelegten Neuanlagen, so dass 25% ER für die umgerüsteten Anlagen als realistischer Wert gelten können.

Deutsche Bahn AG, Hauptverwaltung Frankfurt, 26.09.03.

HFG Hagenuk Faively GmbH & Co KG, Schkeudiz, 26.05.99.

Dr. Ulrich Adolph, Entwicklungsberater Kälte- und Klimatechnik, Leipzig, 21.11.03.

Konvekta AG, Schwalmstadt, 21.11.03.

6. Laufende HFKW-Emissionen vom Bestand

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER_{op}) an den durch Summierung der jährlichen HFKW-Zugänge entstandenen mittleren Bestand (B_n) jenes Jahres (vgl. Abschnitt 2):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei ER von 15% bzw. 25% für Schienenfahrzeug-Klimaanlagen ist die Gleichung der lfd. Emissionen:

ER_{op} (15%, 25%)	x	B_n
----------------------	---	-------

Tab. 4 zeigt die jährlichen 134a-Emissionen aus dem mittleren Bestand in t/a.

Tab. 4: Laufende Emissionen aus dem HFKW-Bestand in Schienenfahrzeug-Klimaanlagen seit 1995 (t/a)								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1. Neuanlagen		0,2	0,9	2,4	4,5	7,0	9,9	12,9
2. Altanlagen	5,2	6,5	6,7	9,5	10,2	10,0	9,8	9,8
3. Gesamt	5,2	6,6	8,6	11,9	14,7	17,0	19,7	22,7

Quelle: Berechnung aus den Daten der Tab. 3 und den Emissionsraten 15% und 25%.

Kommentar

Die lfd. Emissionen steigen seit 1995 an, proportional zum mittleren HFKW-134a-Jahresbestand in allen Klimaanlagen der Schienenfahrzeuge im Bereich der Deutschen Bahn. Die zusammengefasste ER für Alt- und Neuanlagen betrug in 2002 noch 18%, nach 23% in 1997. Im Jahr 2001 hatten die Emissionen aus Neuanlagen die Emissionen aus Altanlagen erstmals übertroffen. Sollte der mittlere Bestand in Neuanlagen bis 2020 auf 214 t anwachsen, betrügen die lfd. Emissionen dann 32 t.

7. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Die Datensicherheit in Bezug auf die Zahl und die Füllmengen der seit 1991 umgerüsteten bzw. seit 1996 neu angeschafften Schienenfahrzeug-Klimaanlagen ist als sehr hoch zu bewerten. Die Angaben beruhen weitestgehend auf internen

Statistiken des Betreibers Deutsche Bahn AG. Selbst die Abgänge durch Verkäufe ins Ausland (Schlafwagen) sind berücksichtigt.

Emissionsrate. Die Emissionsrate von 15% für Neuanlagen ist eine konservative Expertenschätzung sowohl aus den Reihen des Betreibers als auch von Herstellern bzw. Konstrukteuren von Schienenfahrzeug-Klimaanlagen. Der höhere Wert für Altanlagen (25%) hat außerdem eine empirische Begründung in bahninternen Erhebungen der Nachfüllmengen von R-12 in den frühen 90er Jahren.

8. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Die Emissionen aus mobilen Klimaanlagen werden in IPCC GPG unter "3.7.5 Mobile air-conditioning sub-source category" behandelt. Zu Schienenfahrzeugen gibt es keine Ausführungen. ÖR folgt der Anforderungsstufe, die in Box 3 des Decision Tree for Actual Emissions formuliert wird: "Calculate emissions by vehicle class and age, using country-specific bottom-up emission factors."

In Gleichung 3.49 ist die Bestimmung der Operating Emissions wie folgt dargestellt:

$\text{Operating Emissions} = (\text{Amount of HFC-134a Stock in year } t) \times (x/100).$

Dabei ist $x/100$ der Emissionsfaktor. Als updated default emission rate werden 10-20% angegeben. In diesem Bereich liegen die ÖR-Werte für Schienenfahrzeuge, auch wenn IPCC-GPG stark an Pkw-Klimaanlagen orientiert ist.

9. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu laufenden Emissionen von HFC-134a aus mobilen Klimaanlagen (Schienenfahrzeuge) primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihe 88, Spalten C und I.

II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

10. Aktivitätsdaten II

Das CRF verlangt die Abschätzung des inl. HFKW-Neuverbrauchs für die Befüllung von Klimaanlageanlagen und von den bei der Befüllung vorkommenden Verlusten. Klimaanlageanlagen von Schienenfahrzeugen werden im Bestimmungsland befüllt, so dass es keinen Außenhandel mit befüllten Anlagen gibt. Folglich gibt es im Inland auch keinen Unterschied zwischen HFKW-Neuzugang (In_{bank}) und HFKW-Neuverbrauch zur Herstellung (C_{manu}). Als C_{manu} kann direkt die in Teil I (Tab. 2) bereits ermittelte Menge für Neubefüllungen (In_{bank}) herangezogen werden. Neue Information zu Aktivitätsdaten müssen nicht eingeholt werden. Ebenso wenig ergeben sich gegenüber Teil I neue Gesichtspunkte für ihre Datensicherheit.

Die HFKW-Menge von Tab. 2 wurde als Verbrauch in Tab. 5 übernommen. Neu eingetragen sind die jährlich befüllten Klimaanlageanlagen (Stück) - alt und neu zusammen.

11. Emissionsfaktor der Befüllung

Für Schienenfahrzeug-Klimaanlagen werden 0,2% Verlust (bezogen auf die volle Anlage) angenommen. Es ist ein übereinstimmender Schätzwert der gleichen Experten, die auch zur laufenden Emissionsrate befragt wurden. Nur 2 g Verlust pro Anlage wie bei automatisierter Befüllung von Pkw-ACs werden bei der manuellen Befüllung der Schienenfahrzeug-Klimaanlagen nicht erreicht.

Tab. 5: Im Inland eingebaute Schienenfahrzeug-Klimaanlagen nach HFKW-Verbrauch, Stückzahl, Verlust pro Befüllung (in %) und Befüllemmission in t 1995-2002								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Inl. Verbrauch t	9,0	12,2	16,4	18,0	15,0	17,1	20,5	19,2
Klimaanlagen St.	500	1.048	1018	1151	1066	1191	1375	1262
Verlust v. Verbr.	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Befüllemiss. in t	0,018	0,024	0,033	0,036	0,030	0,037	0,041	0,038

Quelle: Berechnungen aufgrund der vorherigen Daten.

Die Befüllungsemissionen bewegten sich von 1995 und 2002 zwischen 18 und 41 kg.

12. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle II

Die Datensicherheit der Aktivitätsdaten ist in Teil I erörtert worden. Der Schätzwert der Befüllemmissionen stammt von denselben Experten, die die lfd. ER abschätzten.

13. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Die First-Fill emission rate für MACs im IPCC GPG ist wie die anderen default emission parameters in Table 3.23 ganz auf Pkw abgestimmt. Für sonstige mobile Klimaanlageanlagen gibt die aktuelle Fassung des GPG noch keine Orientierung.

14. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emissions from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1. Die Daten für 134a werden in Reihe 88 eingetragen, in die Spalten B und H.

F-Gas-Blatt 15 PU-Hartschaum

F-Gase	HFKW 134a, HFKW-152a, HFKW-365mfc, HFKW-227ea
Anwendung	PU-Hartschaum
Berichtsjahre	1998 - 2002
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand

Hintergrund

In den drei größten Einsatzgebieten von PU-Hartschaum mit je 50.000 t jährlicher Schaumproduktion (Hausgeräte, flexibel beschichtete Dämmplatten und starr beschichtete Sandwichelemente) werden schon seit mehreren Jahren Kohlenwasserstoffe wie Pentan, aber kaum noch fluorierte Substanzen wie HFKW-141b oder HFKW als Treibmittel verwendet. Es ist nur ein nennenswerter Fall in diesen drei Sektoren bekannt, wo HFKW-134a die Wasser-CO₂-Reaktion ergänzt. Es handelt sich um einen von mehreren Standorten des deutschen Marktführers für Sandwichelemente, wo 1998 der HFKW-134a mit einem Gewichtsanteil von 3% (bezogen auf 1 m³ PU-Schaum) eingeführt wurde. Nach Auskunft aus jenem Werk ist für 2004 die Umstellung auf Pentan geplant.

Die Situation ist in kleineren PU-Hartschaum-Sektoren anders. Bis 2002 wurde bei einer Vielzahl von "offenen" Anwendungen (Spritzschaum, Gieß- und andere Ortschäume) oder kleinen und diskontinuierlichen Anwendungen (Blockschäume, Kleinserien-Isolierschäume, Kühlzellen, Kühlfahrzeuge) der unbrennbare HFKW-141b eingesetzt. Nach dessen Verbot kommt der neue HFKW 365mfc, der flüssig und nicht so leicht brennbar ist, häufig als Nachfolgestoff infrage.

2002 wurden mit dem HFKW-365mfc, der dem konkurrierenden HFKW-245fa gleicht, von mehreren Anwendern erstmals Versuche durchgeführt. Da es noch keine Serienproduktion gab, waren Verbrauchsmengen und Emissionen noch gering. Gegen das Brandrisiko werden dem HFKW-365mfc 7 Gewichtsprozent des HFKW-227ea zugesetzt.

Teil I. HFKW-Inlandsverbrauch und Fertigungsemissionen

1. Aktivitätsdaten I. Bei Fertigung und Tests im Inland verbrauchte HFKW

Der jährliche inländische HFKW-Neuverbrauch zur Fertigung (C_{manu}) von PU-Hartschaumprodukten war 1998 bis 2002 wie folgt (t/a):

Tab. 1: Inländischer HFKW-Neuverbrauch (C_{manu}) für PU-Hartschaum-Fertigung			
	HFKW-134a	HFKW-365mfc	HFKW-227ea
1998	220 t		
1999	220 t		
2000	220 t		
2001	220 t		
2002	220 t	62 t	4,7 t

Quelle: Hersteller und HFKW-Produzent. Näheres in Teil II, 7.

Der Hersteller von Sandwichelementen erzeugt jährlich ca. 73.000 m³ PU-Hartschaum (Rohdichte 41 kg/m³) mit 3 kg 134a pro m³. Er benötigt dafür jährlich 220 t HFKW-134a. Die Produktionsmengen sind seit Jahren konstant (Tab. 1).

Für PU-Hartschaumtests mit dem neuen Treibmittel wurden laut Angaben des HFKW-Produzenten erstmals im Jahr 2002 im Inland 62 t HFKW-365mfc plus 4,7 t HFKW-227ea verbraucht.

2. Emissionsfaktor der Fertigung

Der Fertigungsverlust umfasst die HFKW-Menge, die spätestens innerhalb eines Jahres nach Fertigungszeitpunkt emittiert ist ("Erstjahresverlust"). Er ist ein Prozentsatz des inländischen HFKW-Neuverbrauchs zur Fertigung (C_{manu}) und lässt sich auch " EF_{manu} " abkürzen. Er wird für PU-Hartschaum mit 10% angesetzt, sowohl bei HFKW-134a als auch bei HFKW-365mfc (mit 227ea). Der Kehrwert (hier 90%) drückt die HFKW-Menge aus, die in den Poren des Schaumprodukts als Zellgas verbleibt.

3. Fertigungsemissionen von 134a und 365mfc

Aus dem HFKW-Neuverbrauch zur Fertigung in Tab. 1 und dem Fertigungs-Emissionsfaktor (EF_{manu}) von 10% lassen sich die absoluten Fertigungsemissionen (Em_{manu}) im Inland für beide HFKW-Typen ermitteln. Je 10%, die vom Neuverbrauch von 134a bzw. 365mfc (mit 227ea) jährlich emittieren, sind in Tab. 2 eingetragen.

Tab. 2: Fertigungsemissionen (Em_{manu}) von 134a und 365mfc bei der inländischen PU-Hartschaumproduktion in t			
	HFKW-134a	HFKW-365mfc	HFKW-227ea
1998	22 t		
1999	22 t		
2000	22 t		
2001	22 t		
2002	22 t	6,2 t	0,47 t

Quellen: Tab. 1 in Verbindung mit dem Fertigungs-Emissionsfaktor (EF_{manu}) 10%.

Kommentar zur Zeitreihe

Die Fertigungsemissionen (Em_{manu}) entwickeln sich proportional zum jährlichen HFKW-Verbrauch. Dieser war bisher bei 134a auf moderatem Niveau konstant. Er kommt möglicherweise 2004 zum Stillstand. Dagegen ist ohne neue gesetzliche Maßnahmen ab 2003/2004 mit einer starken Zunahme beim HFKW-365mfc zu rechnen. Bis zu 1.500 t jährlich beim inländischen Verbrauch und damit 150 t bei den Emissionen gelten langfristig als nicht unrealistisch.

4. Datenermittlung und –quellen. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle I

Ermittlung und Informationsquellen für Aktivitätsdaten I und Emissionsraten I werden in Teil II (Bestand und Bestandsemissionen) an entsprechender Stelle miterörtert. Dies gilt auch für die Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode I und Eintrag in CRF I

Das Verhältnis zur IPCC-Methode und der Eintrag in CRF werden ebenfalls zusammen mit Bestand und Bestandsemission im zweiten Teil mit erörtert.

Teil II: HFKW-Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

6. Aktivitätsdaten II. Bestand zum Jahresende und mittlerer Bestand

6.a Bestand bildende HFKW in PU-Hartschaum

Der inländische HFKW-Bestand in PU-Hartschaum erhöht sich jährlich durch Zugänge neuer HFKW-haltiger Produkte auf den Inlandsmarkt (In_{bank}). Abgänge (De_{bank}), die den Bestand mindern, spielen bei einer Lebensdauer von mindestens 20 Jahren bis auf weiteres noch keine Rolle.

Ausgehend vom in Teil I erörterten inländ. Neuverbrauch zur Fertigung (C_{manu}) folgt der HFKW-Neuzugang ins Inland (In_{bank}) im Jahr n der Gleichung 1.

Gleichung 1	
Neuzugang $In_{bank} n$	$= (C_{manu} - Em_{manu}) n \times (100\% - \text{Exportquote in } \%)$

Erläuterungen. C_{manu} : Inlandsverbrauch von HFKW-134a/-365mfc zur Fertigung. Em_{manu} : HFKW-Fertigungsemissionen als durch den EF_{manu} bestimmter Anteil an C_{manu} . Die Exportquote bezieht sich auf HFKW in Fertigprodukten (C_{manu} minus Em_{manu}). Sie wäre im Falle eines Importüberschusses negativ, bei Identität von Export und Import gleich Null.

Den befragten Experten zufolge spielt bei HFKW-134a-haltigen Sandwichelementen der Außenhandel keine signifikante Rolle bzw. ist zumindest ausgeglichen. Darum kann der jährlich im Inland gefertigte Hartschaum ganz als den inländischen Bestand steigernd betrachtet werden. Das gleiche gilt für die mit HFKW-365mfc (plus 227ea) getriebenen Schaumprodukte aus den Tests, die ohnehin nicht zum Verkauf bestimmt waren.

Der jährliche Neuzugang (In_{bank}) weist die Zeitreihen lt. Tab. 3 auf (EF_{manu} : 10%, Exportquote 0%).

Tab. 3: Jährlicher HFKW-Neuzugang (In_{bank}) zum Bestand in PU-Hartschaum			
	HFKW-134a	HFKW-365mfc	HFKW-227ea
1998	198 t		
1999	198 t		
2000	198 t		
2001	198 t		
2002	198 t	55,8 t	4,2 t

Quelle: Tab. 2 in Verbindung mit Gleichung 1.

6.b Der mittlere HFKW-Bestand

Der durch Aufsummierung aller jährlichen HFKW-Neuzugänge (In_{bank}) entstehende Bestand ist der Bestand zum Ende des Jahres n (EB_n). Lfd. Emissionen des Jahres n (Em_{op}) werden aber auf den mittleren Bestand (B_n) bezogen. Dieser ist die Hälfte der Summe aus Endbestand des Vorjahres (EB_{n-1}) und Endbestand des aktuellen Jahres (EB_n). Als Gleichung (2):

Gleichung 2			
B n	=	$\frac{EB\ n-1 + EB\ n}{2}$	wobei EB n = EB n-1 + In _{bank} n

Der mittlere Bestand weist folgende Zeitreihe auf (EF_{manu}: 10%, Exportquote 0%).

Tab. 4: Mittlerer jährlicher HFKW-Bestand (B n) in PU-Hartschaum			
	HFKW-134a	HFKW-365mfc	HFKW-227ea
1998	98,8		
1999	296,3		
2000	493,9		
2001	691,5		
2002	889,0	27,9 t	2,1 t

Quelle: Tab. 3 in Verbindung mit Gleichung 2.

Kommentar zur Zeitreihe der Aktivitätsdaten

1998 war erstmals ein mittlerer inländischer Jahresbestand an HFKW-134a in PU-Hartschaum zu verzeichnen (Jahreszugang 1998 x 0,5). 2002 kam erstmals ein kleiner Bestand von HFKW-365mfc (mit 227ea) dazu. Sollten sich beim Sandwichhersteller die Pläne realisieren, 2004 auf das Treibmittel Pentan umzusteigen, würde der 134a-Bestand bei etwas über 1.000 t zum Stillstand kommen. Prognosen zur Bestandsentwicklung des HFKW-365mfc sind gegenwärtig noch schwierig. Der Jahresverbrauch hat ein Potenzial von bis zu 1.500 t, wenn die jüngeren Verbrauchsmengen des Vorläufers HFCKW-141b zugrunde gelegt werden. Der langfristige Bestand von HFKW-365mfc in Produkten hat dadurch ein Wachstumspotenzial auf über zwanzigtausend Tonnen. Im Jahr 2020 könnten bei unveränderten politischen Rahmenbedingungen 25.000 t überschritten werden.

7. Ermittlung der Aktivitätsdaten II

Die inländischen Verbräuche von HFKW zur Fertigung von PU-Hartschaum wurden im Fall 134a direkt beim Anwender erfragt. Ergänzende Informationen kamen von dem Treibmittelexperten des Rohstofflieferanten Bayer und des HFKW-Lieferanten DuPont Deutschland. Zur Lebensdauer von Stahlblech-kaschierten PU-Hartschaum wurde auch der Verband (IVPU) befragt.

Die Informationen zu den 2002 eingesetzten Mengen von HFKW-365mfc und HFKW-227ea für Versuchszwecke stammen vom Experten für Schaumtreibmittel des Herstellers Solvay Fluor.

Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Persönliche Mitteilungen

Thyssen Bausysteme GmbH, Werk Hof, 19.11.02; 23.01.03; 22.9.03.

Solvay Fluor GmbH, Hannover, 24.09.03.

Bayer AG, Leverkusen, 08.02.02; 08.03.02; 18.11.02.

DuPont Deutschland GmbH, Bad Homburg, 17.02.99; 31.03.99; 02.11.02.

IVPU – Industrieverband Polyurethan-Hartschaum, Stuttgart, 27.05.99.

Schriftliche Quellen

AFEAS; Final Report prepared for AFEAS on the Development of a Global Emission Function for Blowing Agents used in Closed Cell Foam, submitted by CALEB Management Services, Bristol (UK), September 2000.

GDI: Gesamtverband Dämmstoffindustrie, GDI-Baumarktstatistik 1996-2002 (Angaben in 1.000 m³, Frankfurt am Main, 01.04.2003.

Bayer AG: Herstellung von Polyurethan (PUR)-Hartschaumstoff. Autoren: Dr. Manfred Kapps, Siegfried Buschkamp, Geschäftsbereich Polyurethane, Strategisches Marketing Insulation, Leverkusen, Technische Information Nr. 12/2000.

8. Rate der laufenden Emissionen vom Bestand

Die laufenden HFKW-Emissionen aus dem Bestand in PU-Hartschaum wurden für 134a auf 0,5% und für 365mfc (+ 227ea) auf 1% pro Jahr geschätzt ($ER_{op} = 0,5\%, 1\%$).

9. Ermittlung und Informationsquellen zu den Emissionsraten II

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Der Wert 0,5% für die laufenden Emissionen vom Bestand deckt sich mit IPCC GPG. Er wurde von den Treibmittel-Experten des Rohstofflieferanten Bayer und der HFKW-Lieferanten DuPont Deutschland und Solvay Fluor bestätigt.

Die Emissionsrate während der Nutzung ist darum so niedrig, weil der Hartschaum beidseitig mit Stahlblech in hohem Maße diffusionsbehindernd kaschiert ist.

Mangels geeigneter Daten für den neuen HFKW-365 wurden hier vorläufig 1,0% Emissionen aus den Versuchsprodukten angenommen.

Der Emissionsfaktor bei der Fertigung (EF_{manu}) in Höhe von 10% entspricht dem default value von IPCC-GPG. Er wurde ebenfalls mit den Treibmittel-Experten von Bayer, DuPont und Solvay abgestimmt. Umfassende Untersuchungen gibt es dazu nicht, wohl aber zahlreiche Einzelmessungen.

Bayer AG, Leverkusen, 08.02.02; 08.03.02; 18.11.02.

DuPont Deutschland GmbH, Bad Homburg, 17.02.99; 31.03.99; 02.11.02.

Solvay Fluor GmbH, Hannover, 24.09.03.

AFEAS; Final Report prepared for AFEAS on the Development of a Global Emission Function for Blowing Agents used in Closed Cell Foam, submitted by CALEB Management Services, Bristol (UK), September 2000.

10. Laufende Emissionen der HFKW-134a und –365mfc vom Bestand

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER_{op}) an den durch die addierten Neuzugänge ins Inland (In_{bank}) entstandenen mittleren Bestand B_n jenes Jahres (vgl. Abschnitt 6.b):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei ER von 0,5% bzw. 1,0% für die fertigen im Inland bleibenden PU-Hartschäume ergibt sich folgende Gleichung für die laufenden Emissionen:

ER _{op} (0,5 %)	x	B _n
--------------------------	---	----------------

Die Zeitreihe der laufenden HFKW-Emissionen aus PU-Hartschaum lautet (in t/a):

Tab. 5: Mittlerer Bestand und lfd. Emissionen vom Bestand für 134a und 365mfc				
	HFKW-134a		HFKW-365mfc	
	Mittlerer Bestand	Emission	Mittlerer Bestand	Emission
1998	98,8 t	0,49 t		
1999	296,3 t	1,48 t		
2000	493,9 t	2,47 t		
2001	691,5 t	3,46 t		
2002	889,0 t	4,45 t	27,9 t *	0,28 t **

Quelle: Tab. 4 in Verb. mit ER 0,5% u. 1%. * + 2,1 t HFKW-227. ** + 0,021 t HFKW-227ea.

Kommentar

Die laufenden Emissionen aus dem Bestand betragen wegen der niedrigen Emissionsrate nur einen Bruchteil der Fertigungsemissionen. Sie werden bei HFKW-134a nicht mehr viel größer werden, wenn der Anwender tatsächlich auf Pentan umstellt und keine HFKW-134a-haltigen Hartschäume von anderswo geliefert werden. Dagegen ist mit einem steilen Anstieg der HFKW-365mfc-Emissionen zu rechnen. Sollte der Bestand bis 2020 auf über 25.000 t angewachsen sein, betragen die lfd. Emissionen dann jährlich etwa 250 t.

11. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle II

Aktivitätsdaten. Die Produktionsmengen von PU-Hartschaum und Einsatzmengen des HFKW 134a für 1998-2002 wurden direkt vom Anwenderbetrieb erfragt. Über die Versuche mit HFKW-365mfc stellte der Hersteller Solvay Fluor GmbH die Mengendaten zur Verfügung. Wegen des noch überschaubaren Marktes ist die Datenzuverlässigkeit sehr hoch. Bei den Fertigungsverlusten, die zur Ermittlung der Aktivitätsdaten II (Bestand) erforderlich sind, sind die 10% ein allgemeiner Erfahrungswert, der von den befragten Experten in etwa geteilt wurde. In neuerer Fachliteratur im Auftrag der HFKW-Hersteller-Organisation AFEAS (Caleb 2000) finden sich niedrigere Standardwerte für den "First year release" im Anwendungsfall Sandwichelemente (PU Continuous Panel), nämlich nur 7,5%. Dieser Wert wird von ÖR für genauso wahrscheinlich gehalten wie 10% oder 12,5%, zumal es stark vom Einzelfall abhängt, wie viel bei der Herstellung (Schäumung, Konfektion und Montage) wirklich emittiert. Anzumerken ist, dass weniger Emissionen im ersten Jahr mehr Emissionen in den Folgejahren (aus dem Bestand) bedeuten.

Emissionsraten. Zur Rate der Fertigungsemissionen im ersten Jahr ist bereits das Nötige gesagt. Die Emissionsrate für HFKW-134a aus dem laufenden Bestand (0,5%), die die befragten Experten abgaben, liegt im Bereich der gängigen Literatur-Werte. Auch IPCC (GPG) und AFEAS (Caleb 2000) benutzen diesen Wert. Bei HFKW-365mfc sind 10% für Fertigungsemissionen und 1% für Bestandsemissionen sicherlich niedrig angesetzt, da der neue HFKW zu großem Teil für offen applizierten Spritzschaum genutzt werden wird.

12. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Die Emissionen aus geschlossenzelligem Schaum werden in IPCC GPG unter "3.7.3 Foam sub-source category" behandelt. ÖR folgt den Anforderungen, die in Box 3 des Decision Tree for Actual Emissions (Tier 2) formuliert werden: "Calculate emissions by substance and foam type, using national data, disaggregated country-specific parameters, and the Tier 2 equation, incorporating end of life data if available". Von der Entsorgung am "end of life" wird noch abgesehen.

Die für Tier 2 geeignete Gleichung ist 3.38. Sie definiert im ersten Teil die Fertigungsemissionen ("First-Year Loss"):

$$(\text{Total HFCs Used in Manufacturing New Closed-cell Foam in year } t) \times (\text{First-year Loss Emission Factor})$$

Gleichung 3.38 definiert im zweiten Teil die laufenden Emissionen vom Bestand so:

$$(\text{Original HFC Charge Blown into Closed-cell Foam Manufacturing between year } t \text{ and year } t - n) \times (\text{Annual Loss Emission Factor})$$

Qualitativ deckt sich Gleichung 3.38 mit dem Vorgehen von ÖR.

Quantitative Empfehlungen zu Emissionsraten, die als default values genutzt werden könnten, wenn nationale Daten fehlen, sind in IPCC GPG in Table 3.18 für 134a vorhanden. Der First Year Loss von 10% und der Annual Loss von 0,5% im Falle "Polyurethane – Continuous Panel" deckt sich mit den von ÖR benutzten Werten. In Table 3.19 finden sich default emission factors for HFC-245a/365mfc für verschiedene Anwendungen (Source: Ashford 1999). Die Anwendungsstruktur des deutschen Neuverbrauchs in 2002 ist aber nicht bekannt, so dass die Tabelle erst künftig von Bedeutung ist. Da der HFKW-365mfc zu großem Teil für den offen angewendeten Spritzschaum benutzt werden dürfte, ist allerdings sowohl beim Erstjahresverlust als auch bei den laufenden Emissionen mit höheren Werten als 10% bzw. 1% zu rechnen.

Die Lebensdauer von Hartschaum in Sandwichelementen (134a) wird mit 50 Jahren angegeben. Dieser für den Zeitpunkt der Entsorgung wichtige und akzeptable Wert spielt in vorliegenden Datenzusammenstellungen für 1998 bis 2002 noch keine Rolle.

13. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products", "Average annual stocks", "Emission from manufacturing" und "Emissions from stocks" für HFC-134a bei PU-Hartschaum primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihen 92, Spalten B und C sowie H und I. Der HFKW-365mfc ist im CRF (Stand 2003) noch nicht vorgesehen. Vorläufig wird für ihn die Reihe 93 benutzt und für HFKW-227ea die Reihe 94.

F-Gas-Blatt 16 PU-Integralschaum

F-Gase	HFKW 134a, HFKW-365mfc, HFKW-227ea
Anwendung	PU-Integralschaum
Berichtsjahre	1996 - 2002
Emissionstyp 2	Offene Anwendung (direkt)

Hintergrund

Zur Qualitätsverbesserung (u.a. Bildung glatter Oberflächen) wird bei verschiedenen Produkten aus Integralschaum (wie Sohlen für Sport- und Freizeitschuhe, Automobilteile) seit 1996 HFKW-134a im Umfang von 1-2% als Hilfstreibmittel bei der Schäumung zugesetzt.

Da Integralschaum offenzellig ist, entweicht das Treibmittel bis auf wenige Reste während des Schäumvorgangs. Was im Schaum bleibt, sind etwa 5%, die in Zeiträumen ausgasen, die unterschiedlich lang eingeschätzt werden: von wenigen Wochen bis zu zwei Jahren. Die konsultierten inländischen Experten gehen von sehr rascher Diffusion aus und betrachten diese Anwendung als offen in dem Sinn, dass sie von dem kurzfristigen Aufbau eines HFKW-Bestands in Fertigprodukten absehen.

Methodisch bedeutet dies, dass auf die Ermittlung eines HFKW-Bestands und von laufenden Emissionen aus dem Bestand verzichtet wird.

Kalkuliert wird dagegen mit einem Faktor der Fertigungs-Emissionen ("First Year Loss Emission Factor" oder "Product manufacturing factor") von 100%, bezogen auf den inländischen HFKW-Neuverbrauch zur Fertigung. Mit anderen Worten: Bei der Fertigung emittiert der gesamte HFKW-Neuverbrauch.

Inländischer HFKW-Neuverbrauch mit Totalemission

1. Aktivitätsdaten (Inlandsverbrauch) und Emissionen

Die von ÖR praktizierte Datenermittlung betrachtet den HFKW-Einsatz bei der Integralschäumung als gänzlich offene Anwendung. Das bedeutet, dass inländischer HFKW-Neuverbrauch zur Herstellung (C_{manu}) und Emissionen (Em_{manu}) größengleich sind, oder anders formuliert: Der Emissionsfaktor der Fertigung (EF_{manu}) beträgt 100% auf jenen Neuverbrauch.

Jährliche Verbrauchsmengen (C_{manu}) bzw. Emissionen (Em_{manu}) von HFKW waren 1996 bis 2002 wie folgt (t/a):

Tab. 1: HFKW-Verbrauch/HFKW-Emissionen bei PU-Integralschaum-Herstellung		
	HFKW-134a	HFKW-365mfc*
1996	60 t	
1997	70 t	
1998	70 t	
1999	70 t	
2000	70 t	
2001	70 t	
2002	70 t	15 t *

* Zur Minderung des Brandrisikos wird der HFKW-365mfc mit 7% HFKW-227ea versetzt. Von den 15 t Verbrauch/Emissionen sind 13,95 t HFKW-365 und 1,05 t HFKW-227ea.

Kommentar

Nach dem Start 1996 mit 60 t sind der Verbrauch und damit die Emissionen seit 1997 konstant bei 70 t HFKW-134a geblieben. Das Produktionsverfahren (HFKW als Co-Treibmittel) ist in Deutschland nicht sehr weit verbreitet. Auch stellen Anwender wie die Schuhindustrie keine Wachstumsbranche dar. Seit 2002 wird der neue flüssige HFKW-365mfc (versetzt mit HFKW-227ea) für die Integralschaumherstellung getestet, wofür 15 t verbraucht wurden. Im europäischen Ausland gab es 2002 schon Serienproduktion. Ob in Deutschland der HFKW-365mfc den HFKW-134a verdrängen wird oder sogar zusätzliche Integralschaum-Sektoren für HFKW-Anwendung gewinnen kann, ist gegenwärtig nicht abzusehen.

2. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Nach Angaben von PU-Rohstoffherstellern aus der Großchemie gibt es in Deutschland eine in die Hunderte gehende Zahl von Herstellern von Integralschaumteilen (Hart-, Halbhart- und Weichintegral). Nur ein Teil davon setzt HFKW ein. Einen Überblick über den Markt haben nur solche Unternehmen, die ihrerseits die Anwender mit den Komponenten für den Schäumprozess beliefern. In Deutschland ist mit weitem Abstand Marktführer bei der Versorgung der Integralschäumer das BASF-Unternehmen Elastogran. Von Elastogran stammen die jährlichen Einschätzungen des HFKW-134a-Verbrauchs. Sie wurden verglichen mit Schätzungen seitens des Treibmittel-Lieferanten DuPont.

Die Informationen zu dem 2002 erfolgten Einsatz des HFKW-365mfc für Versuche stammen direkt vom Hersteller dieses HFKW, nämlich der Solvay Fluor GmbH.

Persönliche Mitteilungen

Elastogran GmbH, Lemförde, 20.07.99; 20.02.03; 23.09.03.

Solvay Fluor GmbH, Hannover, 24.09.03.

Bayer AG, Leverkusen, 08.02.02; 08.03.02; 18.11.02.

DuPont Deutschland GmbH, Bad Homburg, 17.02.99; 31.03.99; 02.11.02.

3. Emissionsraten und Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Bei offenen Anwendungen sind normalerweise keine Einschätzungen der Höhe der Emissionsraten zu machen. Da sich jedoch sowohl in IPCC (GPG) als auch in AFEAS (Caleb 2000) das Emissionsprofil "95% First year release" – "2,5% Annual Loss (2 years time to total release)" wieder findet, sollen zumindest die inländischen Quellen angegeben werden, die einen Emissionsfaktor 100% für angemessen halten. Es sind dies folgende Experten:

Persönliche Mitteilungen (100% EF)

Bayer AG, Leverkusen, 08.03.02.

DuPont Deutschland GmbH, Bad Homburg, 17.02.99; 31.03.99; 02.11.02.

Solvay Fluor GmbH, Hannover, 24.09.03.

Schriftliche Quellen (95% EF im ersten Jahr)

AFEAS; Final Report prepared for AFEAS on the Development of a Global Emission Function for Blowing Agents used in Closed Cell Foam, submitted by CALEB Management Services, Bristol (UK), September 2000.

4. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle

Aktivitätsdaten. Die Einsatzmengen von HFKW-134a stammen vom Marktführer Elastogran, dessen Marktanteil bei der Komponentenversorgung der Integralschäumer weit über 50% beträgt, was im Allgemeinen eine hohe Datenkompetenz verbürgt. Im Falle des HFKW-365mfc ist die Informationsquelle Solvay Fluor bislang ohnehin die einzig mögliche. Nur Solvay stellt den HFKW her und hat die in 2002 vorgenommen Versuche aufgezeichnet.

Emissionsrate. Die nationalen Experten, die Totalemission der Einsatzmenge im Anwendungsjahr (ER: 100%) annehmen, sind fachlich durchaus kompetent. Selbst wenn die ER tatsächlich nur 95% im Anwendungsjahr betrüge, wäre die Datensicherheit des Rechnens mit 100% immer noch sehr hoch und akzeptabel.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode

Die Emissionen aus offen- und geschlossenzelligem Schaum werden in IPCC GPG unter "3.7.3 Foam sub-source category" behandelt. Während "Polyurethane – Integral Skin" dort dem "Closed-cell Foam" zugerechnet wird, für den spezifische Emissionsfaktoren für First Year Loss (95%) und Annual Loss (2,5%) präsentiert werden, klassifiziert ÖR Integralschaum als offenzellig, wofür keine "operating emissions" ermittelt werden müssen, da die gesamten Emissionen im ersten Jahr

erfolgen. Über diese Frage wurden oben Ausführungen gemacht, so dass weitere an dieser Stelle unterbleiben können.

6. Eintrag in CRF

Der Neuverbrauch für die offene Anwendung wird bei "amount of fluid filled in new manufactured products" eingetragen, weil die Alternative "amount of fluid in operating systems (average annual stocks)" wäre, was begrifflich noch weiter weg von der technischen Einsatzweise ist.

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emissions from manufacturing" (nicht "Average annual stocks" und "Emissions from stocks") für HFC-134a und HFC-365mfc mit HFKW-227ea bei Integralschaum primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihen 95-97, Spalten B und H.

Nachzutragen bleibt, dass der HFKW-365mfc in der CRF-Tabelle noch nicht berücksichtigt ist (Stand 2003).

F-Gas-Blatt 17 PU-Montageschaum

F-Gase	HFKW 134a, HFKW-152a
Anwendung	PU-Montageschaum (One Component Foam)
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 3	Offene Anwendung (indirekt)
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen

Hintergrund

Unter dem Begriff "Montageschaum" wird Polyurethanschaum verstanden, der aus Druckbehältern (Dosen) vor Ort ausgetragen wird. Über 90% der Dosenschäume sind ein-komponentig. Bei diesen 1-K-Schäumen (englisch: OCF) enthält die Dose ein Prepolymer aus Polyisocyanat und Polyolkomponenten incl. Additive zusammen mit einem Treibmittel (Aerosol). Anders als bei sonstigen PU-Schäumen wirkt dieses primär zum Austreiben des Schaums aus der Dose und nur sekundär als Blähgas. Das Treibmittel kann bis zu einem Viertel seines Umfangs zunächst im Schaum verbleiben, hat sich aber nach maximal einem Jahr vollständig verflüchtigt, so dass von offener Anwendung des Treibmittels gesprochen wird.

Seit dem HFCKW-Verbot von 1993 werden HFKW als Treibmittel eingesetzt. Wegen des Explosionsrisikos bei der Schäumung waren es pro 750-ml-Standard-Dose zunächst über 100 Gramm des unbrennbaren HFKW-134a, und maximal 50 Gramm der preiswerten, aber leicht entzündlichen gängigen Aerosoltreibgase Propan, Butan und Dimethylether. Diese Sicherheitsanforderungen an die Treibmittel wurden Zug und Zug gelockert: Erstens wurden immer mehr HFKW-134a durch nicht unbrennbare HFKW-152a ersetzt, zweitens wurde der HFKW-Anteil generell zugunsten entzündlicher Treibgase reduziert.

In Deutschland, dem weltgrößten Einzelmarkt für PU-Montageschaum, gibt es fünf Abfüllbetriebe, die mittlerweile (2002) über 30 Mio. Dosen herstellen. Der inländische Markt bewegt sich, je nach Baukonjunktur, zwischen 17 und 26 Mio. Dosen, die zu über der Hälfte aus Belgien, den Niederlanden und der Schweiz stammen. Außenhandel und deutsche Exporte sind bedeutend.

I. Neuzugang ins Inland und Totalemission bei Anwendung

Vorbemerkung. Aktivitätsdaten (Neuzugang ins Inland) gleich Emissionen

Die 300 bis 750 ml großen Dosen werden bei der Anwendung bestimmungsgemäß entleert, wobei die HFKW-Treibmittel emittieren. Die Emissionsrate ist 100%, weil die in den Dosen enthaltenen HFKW bei der Anwendung ganz versprüht werden, mithin HFKW in verkauften Dosen und Emissionen grundsätzlich größengleich sind, auch wenn sie erst Wochen später zu 100% in der Atmosphäre angekommen sind.²

Da von den im Inland abgesetzten Dosen angenommen werden kann, dass sie nach dem Verkauf zügig eingesetzt werden, werden die Emissionen des Jahres n (Em n) auf die Verkäufe/Käufe (S für Sales) des gleichen Jahres n bezogen (S n).

$Em\ n = S\ n \times 100\% \quad \text{oder:} \quad Emission\ n = \text{Verkäufe (Dosenabsatz)}\ n \times 100\%$
--

Bezugsgröße für die Emissionen ist nicht die Summe der halben Verkäufe (Käufe) des Jahres n-1 und des Jahres n. So zu verfahren, böte sich an, wenn nicht verkaufte, sondern produzierte Dosen als Daten vorlägen und zwischen Produktion und Anwendung viel Zeit für Transport- und Lagerung verginge.

1. HFKW-Neuzugang ins Inland und Anwendungsemissionen seit 1995

Neuzugang ins Inland (In_{bank}) bzw. zügig nachfolgende inländische Anwendungsemissionen pro Jahr für die HFKW-134a und –152a ergeben sich aus drei Informationen:

- 1) im Inland abgesetzte Dosenzahl (standardisiert auf 750 ml),
- 2) HFKW-Gehalt pro Dose in Gramm und
- 3) Relation zwischen den beiden HFKW-Typen 134a und 152a in Prozent.

Tab. 1 enthält die Ausgangsdaten "Dosenabsatz", "HFKW-Gehalt" und "Anteil 134a/152a" in den Spalten 2, 3 sowie 4 und 5. Die beiden Spalten rechts außen enthalten die daraus errechneten Werte für Absatz/Emissionen für 134a und 152a.

Tab. 1: HFKW-Absatz in Dosen und Anwendungs-Emissionen im Inland 1995-2002						
1. Jahr	2. PU-Dosen Mio. Stück	3. HFKW- Gehalt in g	4. Anteil 134a	5. Anteil 152a	6. Zugang/Emissionen in t	
					134a	152a
1995	20	90	60%	40%	1.080	720
1996	22	85	60%	40%	1.122	748
1997	24	80	60%	40%	1.152	768
1998	26	70	60%	40%	1.092	728
1999	24	65	50%	50%	780	780
2000	23	62,5	50%	50%	719	719
2001	22	60	50%	50%	660	660
2002	17	50	50%	50%	425	425

Erläuterung: Zugang/Emission pro Jahr in t für HFKW-134a bzw. 152a in den Spalten 6 bzw. 7 sind das Produkt von Spalte 2 mit Spalte 3 und entweder Spalte 4 oder 5.

² An der ER 100% ändert auch der Umstand nichts, dass die Dosen praktisch nie ganz geleert werden, wodurch etwa 5 Prozent Resttreibmittel erst bei der Dosenentsorgung emittieren.

Für jedes Bezugsjahr gilt die Formel für die Berechnung von Zugang/Emission:

$\begin{aligned}\text{Emission 134a (t)} &= \text{Dosenabsatz (Mio.)} \times \text{HFKW-Gehalt (in g)} \times \text{Anteil 134a (in \%)} \\ \text{Emission 152a (t)} &= \text{Dosenabsatz (Mio.)} \times \text{HFKW-Gehalt (in g)} \times \text{Anteil 152a (in \%)}\end{aligned}$
--

Kommentar

Der jährliche Dosenabsatz in Deutschland nahm bis 1998 zu und seitdem von 26 Mio. auf 17 Mio. Stück in 2002 wieder ab. Darin spiegelt sich die Abhängigkeit von der Baukonjunktur wider. Haupteinsatzgebiet von Montageschaum sind Fugenabdichtung und Verfüllung von Hohlräumen bei Fenstern, Türen, Rollläden.

Der HFKW-Gehalt pro Dose hat kontinuierlich abgenommen und sich innerhalb acht Jahren fast halbiert. Dafür gibt es zwei Hauptgründe. Erstens der gestiegene Kostendruck, der – trotz relativ hoher einmaliger Investitionen für Explosionsschutz von Abfüllanlagen und Vorrattanks – halogenfreie, d.h. brennbare, Treibgase begünstigt. Zweitens hat sich das Sicherheitsdenken als überzogen herausgestellt, das in einer Regel zum Ausdruck kam, maximal 50 Gramm brennbare Treibgase einzusetzen. Diese freiwillige Regel war zwischen den meisten der zwölf westeuropäischen Abfüller nicht nur ständiger Streitpunkt im Branchenarbeitskreis AKPU. Sie wurde auch immer wieder unterlaufen und mittlerweile in eine 100 Gramm-Regel umgewandelt. Ob diese lange Bestand hat, ist fraglich, zumal die Abfüller wegen der Klimawirkung ihrer Treibgase in vielen EU-Ländern und bei der EU-Kommission unter Kritik geraten sind.

Schließlich hat sich auch der Anteil zwischen dem sehr stark und dem weniger stark klimawirksamen HFKW-134a und -152a zugunsten des letzteren verschoben. Hierzu hat die ökologische Kritik mit beigetragen. Viele Jahre lang war in Deutschland die Montageschaum-Anwendung größte Einzelquelle von HFKW-Emissionen gewesen.

Insgesamt sind die HFKW-Emissionen zwischen 1995 und 2002 sowohl in metrischer als auch erst recht in CO₂-äquivalenter Tonnage signifikant gesunken.

2. Ermittlung der Aktivitätsdaten "Neuzugang" und Informationsquellen

Die Zahlen über die auf dem deutschen Markt abgesetzten Schaumdosen, sowie die Angaben über mittleren HFKW-Gehalt und verwendeten HFKW-Typ stammen von den Herstellern selber. Bei zwei großen Erhebungen durch Öko-Recherche im Jahre 1996 und 1999 wurden vor allem inländische Unternehmen befragt sowie der Schweizer Lohnabfüller Rathor AG. Die inländischen Unternehmen waren sowohl Lohnabfüller gewesen als auch die Fa. Henkel, die in der Produktentwicklung führend tätig ist und bei einem der befragten Serviceunternehmen abfüllen lässt.

Im Jahre 2002 und 2003 wurden ausführliche Gespräche mit dem europäischen Branchenverband AKPU, d.h. mit dessen beiden Repräsentanten Ad van der Rhee und Peter Geboes geführt, die ihrerseits zwei (mittlerweile drei) Abfüllbetriebe in den Niederlanden und in Deutschland vertreten. Die Daten für 1999 bis 2002 stammen im Wesentlichen von ihnen. Zusammen mit beiden Experten wurden auch die bis 1997/1998 vorliegenden Daten einer Revision unterzogen.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

Persönliche Mitteilungen

Autra Den Braven Aerosol GmbH + Co KG, Reichenberg-Albertshausen und Soudal NV, Turnhout, Schreiben vom 22.09.03.
 OCF-Meeting at the EU-Commission, DG ENV with Wolfgang Hehn (DG ENTR), Phil Callaghan (DG ENV), Ad. K. van der Rhee (AKPU and Managing Director of Autra den Braven and BÜKA Chemie), Peter Geboes (Soudal NV), Mike Jeffs (ISOPA), Winfried Schwarz (Öko-Recherche), Brussels, 14.11.02.
 AKPU-Fachgespräch bei Öko-Recherche mit Ad. K. van der Rhee (AKPU and Managing Director of Autra den Braven and BÜKA Chemie) und Dr. Cd. Peter Geboes (AKPU and Manager Research & Development at Soudal NV) und Winfried Schwarz (Öko-Recherche), Frankfurt, 08.08.02.
 Polyurethan Dosen Recycling GmbH + Co. Betriebs KG, Thurnau, 12.09.00.
 Henkel KGaA, Düsseldorf, 15.03.99; 07.05.99.
 Rathor AG, Appenzell, Schreiben vom 26.02.99, Mitteilungen 05.05.96, 23.05.99;
 HAGO Dr. Schirm Chemotechnik, München, 28.06. 99.
 Henkel KGaA, UBA-Fachgespräch mit Dr. Wolfgang Klauck (Produktmanagement), Hermann Kluth (AWT PU-Schäume), Cornelia Elsner (Umweltbundesamt) und Winfried Schwarz (Öko-Recherche), Düsseldorf 05.03.99.
 Ara Werk Krämer GmbH, Unterensingen, 11.04.96.
 Czewo Aerosole GmbH, Donaustauf, 02.10.96.
 Hago Chemotechnik Vertriebs GmbH, Landsberg, 28.5.96.
 Henkel KGaA, Düsseldorf, 23.05.96, 11.6.1996.
 FLM-Holding (Rathor AG u. Fomo-Polypag AG), Appenzell, 28.05.96, 12.06.96.
 P.D.R. GmbH+Co. Betriebs KG, Thurnau, 12.06.96.

Schriftliche Quellen

HFCs in one component foams, Ch. 4.6, in: Costs and the impact on emissions of potential regulatory framework for reducing emissions of hydrofluorocarbons, perfluorocarbons and sulphur hexafluoride (final report). Prepared on behalf of the European Commission (DG ENV) by Jochen Harnisch (Ecofys) & Winfried Schwarz (Öko-Recherche), February 4, 2003, p. 34-39.
http://www.oekorecherche.de/english/berichte/volltext/ecofys_oekorecherchestudy.pdf.
 COCON-Rapport-Nr. CL 1662: 1K PU und der Treibhauseffekt, Verf.: A.K. van der Rhee, COCON ARKEL B.V., 29.05.1996; zugesandt mit einem Begleitschreiben von M.F.A. van Diessen, Arbeitskreis PU-Dämm- und Montageschäume, Tilburg.
 Arbeitskreis PU-Dämm- und Montageschäume (Hg.), Wichtige Informationen über PU-Schäume, Tilburg/Stuttgart o.J..
 P.D.R. (Polyurethan Dosen Recycling), Pressemappe, Wiesbaden 01.10.96.

3. Daten-Sicherheit und Qualitätskontrolle I

Die Datensicherheit ist bei den Verkaufszahlen sehr hoch, obgleich hier Auf- oder Abrundungen auf "ganze" Millionen durchgeführt wurden und außerdem die unterschiedlichen Dosengrößen auf das 750-ml-Standardvolumen umgerechnet werden mussten. Die geringe Zahl der auf Mittel- und Westeuropa konzentrierten mittelständischen Abfüllbetriebe bringt ein hohes Maß an gegenseitigem Wissen über Wettbewerber bzw. an interner Markttransparenz mit sich. Daher sind auch die Angaben über die HFKW-Gehalte pro Dose und die Relationen zwischen 134a und 152a recht zuverlässig, zumal es kein Geheimnis ist, dass die Betriebe in ihren Labors auch Konkurrenzprodukte analysieren (Solche Berichte liegen ÖR vor).

Die hohe Datensicherheit wird auch dadurch belegt, dass bei der vom AKPU im Jahre 2002 durchgeführten Revision der Zahlen für 1995 bis 1998, die nicht von den Experten des AKPU, sondern im wesentlichen von drei deutschen Abfüllbetrieben stammten, keine nennenswerten rückwirkenden Änderungen erforderlich wurden.

4. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Montageschaum aus der Dose oder "One Component Foam" wird in IPCC GPG nicht bei Aerosolen behandelt, obwohl dies durchaus plausibel wäre. OCF findet sich unter "3.7.3 Foams sub-source category", was die gleichen Fragen aufwirft, auf welche die Einordnung von PU-Integralschaum stößt (vollständige oder unvollständige Emissionen im ersten Jahr). Table 3.18 im IPCC GPG über "Default Emission Factors for HFC-134a Applications" stellt einen Standardwert für den "First Year Loss" von 95% auf und außerdem einen Wert für den "Annual Loss" von 2,5%. Es wird noch die Einschränkung gemacht, dass diese Empfehlungswerte nur bei Anwendung von HFC-152a gelten. Sicherlich soll dieser Hinweis nicht bedeuten, bei 134a einen Verlust von 100% im ersten Jahr unterstellen zu können.

Gerade dies tut ÖR aber bei OCF sowohl für die Anwendung von 134a als auch von 152a, und zwar in Übereinstimmung mit allen Experten, die oben in der Liste (Abschnitt 2) stehen, soweit ÖR sie nach dem Emissionsverhalten gefragt hat.

Anzumerken ist hier noch, dass die AFEAS-Studie von 2000 (Caleb 2000) über "Emission Function for Blowing Agents used in Closed Cell Foam" jene IPCC-Werte nicht aufnimmt, sondern zu OCF überhaupt keine Angaben macht.

Zitierte schriftliche Quelle

AFEAS; Final Report prepared for AFEAS on the Development of a Global Emission Function for Blowing Agents used in Closed Cell Foam, submitted by CALEB Management Services, Bristol (UK), September 2000.

5. Eintrag in CRF I

Die CRF-Table 2(II).Fs1 erlaubt für jeden HFKW-Typ Eintragungen in die vier Rubriken "Filled in new manufactured products" und "Emission from manufacturing" sowie "Average annual stocks" und "Emissions from stocks". Unter Befüllung und den dabei anfallenden Emissionen kann die OCF-Anwendung nicht eingetragen werden. Erstens muss der Platz für wirkliche Befüllungen mit HFKW frei bleiben, nämlich die Abfüllung von PU-Schaum-Dosen in inländischen Betrieben. Zweitens ist die Anwendung eine "Entleerung", mithin das Gegenteil einer Befüllung.

ÖR hat sich entschieden, den jährlichen Neuzugang auf den Inlandsmarkt bei "average annual stocks" einzutragen und die Emissionen bei "Emissions from stocks". Diese Klassifikation ist sicherlich nicht ganz korrekt, eben weil aus der Anwendung kein "stock" oder keine "bank" aus mehreren jährlichen Neuzugängen aufgebaut wird. Mit etwas Fantasie lassen sich die befüllten Dosen vor ihrer Anwendung als "stocks" oder "bank" deuten und die Anwendung selbst als "emission from stocks", um den Vorgaben Genüge zu leisten.

Daher werden die jährlichen HFKW-Absätze in Spalte C (Average annual stocks) eingetragen und die Emissionen größengleich in Spalte I, für den HFKW-134a in Reihe 98 und für den HFKW-152a in Reihe 99.

II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

6. Aktivitätsdaten II

Das CRF verlangt die Abschätzung von inländischem Neuverbrauch zur Herstellung (C_{manu}) und von den bei der Fertigung (hier: Befüllung) entstehenden Verlusten von HFKW. Der inl. Neuverbrauch wiederum richtet sich nicht nach der Zahl der im Inland verkauften, sondern im Inland abgefüllten Dosen – unabhängig davon, wo diese angewendet werden.

Um den HFKW-Verbrauch für die inländische Abfüllung von Montageschaum-Dosen und die dabei anfallenden Befüllungsemissionen zu ermitteln, wurden die in Teil I zitierten Experten des AKPU nach den dafür notwendigen Ausgangsdaten befragt. Dies waren vor allem die Zahl der jährlich in Deutschland befüllten Dosen, die für Deutschland typische Aufteilung der beiden HFKW-Typen und der spezifische Befüllverlust pro Dose. Die Antworten sind in Tab. 2 enthalten.

Tab. 2: Rahmendaten für die Ermittlung von HFKW-Verbrauch (C_{manu}) und Befüllemmissionen (Em_{manu}) bei der Abfüllung von Dosen im Inland 1995-2002					
1. Jahr	2. Befüllte Dosen in Mio. Stück	3. HFKW-Gehalt in g	4. Anteil 134a	5. Anteil 152a	6. Verlust pro Dose
1995	15	90	100%	0%	1,5 g
1996	16	85	100%	0%	1,5 g
1997	18	80	100%	0%	1,5 g
1998	16	70	100%	0%	1,5 g
1999	21	65	100%	0%	1,5 g
2000	25	62,5	100%	0%	1,5 g
2001	28	60	100%	0%	1,5 g
2002	31	50	80%	20%	1,5 g

Quellen: Befragung der in Teil I, 2 angeführten Experten, insbes. des AKPU.

Kommentar

Tab. 2 macht erhebliche Unterschiede von der Tab. 1 über den Inlandsmarkt sichtbar. Erstens ist die jährliche Dosenproduktion kontinuierlich gestiegen. Zweitens war 134a bis 2001 der einzige HFKW-Typ, der abgefüllt wurde; erst in 2002 kam 152a dazu.

7. HFKW-Inlandsverbrauch zur Abfüllung und Befüllverluste

Aus den in Tab. 2 vorliegenden Daten lassen sich für jedes Jahr seit 1995 der inländische HFKW-Neuverbrauch zur Abfüllung (C_{manu}) und die gesamten Befüllverluste (Em_{manu}) ableiten. Der HFKW-Verbrauch folgt nachstehender Formel:

$\begin{aligned} \text{Verbrauch 134a (t)} &= \text{Befüllungen (Mio.)} \times \text{HFKW-Gehalt (in g)} \times \text{Anteil 134a (in \%)} \\ \text{Verbrauch 152a (t)} &= \text{Befüllungen (Mio.)} \times \text{HFKW-Gehalt (in g)} \times \text{Anteil 152a (in \%)} \end{aligned}$
--

Es müssen für 134a in Tab. 2 die Spalten 2, 3 und 4 miteinander multipliziert werden. Für 152a sind es die Spalten 2, 3, 5, wobei die Berechnung erst ab 2002 notwendig ist.

Die Befüllverluste (Em_{manu}) folgen einer ähnlichen Gleichung:

$\begin{aligned}\text{Befüllverlust 134a (t)} &= \text{Befüllungen (Mio.)} \times \text{Anteil 134a (in \%)} \times 1,5 \text{ g} \\ \text{Befüllverlust 152a (t)} &= \text{Befüllungen (Mio.)} \times \text{Anteil 152a (in \%)} \times 1,5 \text{ g}\end{aligned}$
--

Hierzu müssen für 134a aus Tab. 2 die Spalten 2, 4 und 6 miteinander multipliziert werden. Für 152a sind es die Spalten 2, 5 und 6, und zwar wiederum erst ab 2002.

Es ergeben sich die in Tab. 3 eingetragenen Mengen für inländischen Neuverbrauch (C_{manu}) und die Befüllemissionen in t (jeweils aus g umgerechnet).

Tab. 3: HFKW-Verbrauch zur Befüllung im Inland und Befüllemissionen 1995-2002, jeweils in t/a				
Jahr	HFKW-Verbrauch zur Befüllung		Befüllemissionen in t a	
	HFKW-134a	HFKW-152a	HFKW-134a	HFKW-152a
1995	1.350	0	22,5	
1996	1.360	0	24	
1997	1.440	0	27	
1998	1.120	0	24	
1999	1.365	0	31,5	
2000	1.563	0	37,5	
2001	1.680	0	42	
2002	1.240	310	37,2	9,3

Quelle: Berechnungen aus den Daten der Tab. 2.

Kommentar

Der HFKW-Neuverbrauch ist bis 2001 trotz rückläufigen HFKW-Gehalts pro Dose gestiegen, weil die Stückzahlen zunahmen. 2002 war das erste Jahr (seit 1998), in dem der rückläufige spezifische HFKW-Gehalt nicht mehr von steigenden Abfüllungszahlen aufgefangen wurde. Der Neuverbrauch sank von 1.680 auf 1.550 t. Beim Befüllverlust ist kein Rückgang festzustellen, sondern ein Anstieg von 42 auf 46,5 t. Da er konstant 1,5 g pro Dose beträgt, steigt er mit der Zahl der befüllten Dosen weiter an, solange noch eine Mindestmenge HFKW eingefüllt wird.

8. Impliziter Emissionsfaktor der Befüllung

Der Emissionsfaktor von 1,5 g pro Dose entsprach 1995 einem impliziten relativen Verlust von 1,66% (Befüllverlust in t/HFKW-Verbrauch in t) und im Jahre 2002 (deutlich weniger HFKW-Verbrauch!) von 3%.

9. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen II

Die Rahmendaten zum inländischen Verbrauch für die Abfüllung seit 1995, nämlich Zahl der abgefüllten Dosen, HFKW-Gehalt pro Dose, verwendete HFKW-Typen und spezifischer Befüllverlust wurden von den gleichen Experten erfragt, die in Teil I im Abschnitt 2 angeführt sind.

10. Daten-Sicherheit und Qualitätskontrolle II

Wegen der Identität der Informationsquellen gibt es zur Datenqualität nicht Neues gegenüber Teil I, Abschnitt 3 zu sagen.

11. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Befüllemmissionen kommen in IPCC-GPG nicht vor. Der Grund ist die Zuordnung von OCF zu geschlossenzelligen Schäumen, für die ein First Year Loss (95%) und ein Annual Loss (2,5%) angenommen werden. Der First Year Loss deckt die Fertigungsemissionen (Em_{manu}) bereits begrifflich ab, so dass der Befüllung der Dose kein Augenmerk mehr geschenkt wird. OCF hat in der Tat Eigenschaften sowohl von PU-Hartschaum als auch von einem Aerosol. Diesem Umstand wird IPCC-GPG noch nicht ausreichend gerecht.

12. Eintrag in CRF II

In der CRF-Table 2(II).Fs1 werden die HFKW-Verbräuche zur inländischen Abfüllung unter "Filled in new manufactured products" und die Befüllverluste unter "Emission from manufacturing" eingetragen. Dies erfolgt für den HFKW-134a in Reihe 98 und für den HFKW-152a in Reihe 99, jeweils in den Spalten B und H.

F-Gas-Blatt 18 XPS-Dämmstoffe

F-Gase	HFKW 134a, HFKW-152a
Anwendung	XPS-Dämmstoff
Berichtsjahre	2001 - 2002
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen
Emissionstyp 2	Offene Anwendung (direkt)
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand

Hintergrund

Standard-Treibmittel und –Zellgas für XPS-Dämmplatten war nach dem 1990 erfolgten Ersatz des FCKW-12 jahrelang eine HFCKW-Mischung aus -22 und -142b. Von den zwei großen und zwei mittelgroßen inländischen Herstellern verzichtete ab 2000 einer ganz auf fluorierte Gase zugunsten eines Verfahrens mit CO₂/Ethanol. Die anderen drei ersetzten 2001 die HFCKW durch HFKW in verschiedenen Verfahren: Der größte Produzent nimmt zusätzlich zu CO₂ den HFKW-134a, der den Dämmeffekt dadurch erhöht, dass ein großer Teil des Treibmittels im Schaum als Zellgas verbleibt. Die kleineren Hersteller nutzen neben CO₂ vor allem HFKW-152a, der zwar bei der Produktion praktisch vollständig emittiert, aber die Dämmung durch sehr feine und homogene Schaumzellenbildung verbessert (was bei dem Hersteller, der auf HFKW verzichtet, durch Ethanol-Zugabe erreicht wird).

Die Erfahrungen mit auf HFKW basierenden Verfahren sind noch nicht sehr groß. Dennoch planen die drei inländischen Nutzer dieser Substanzen nach eigenem Bekunden mittelfristig eine Erhöhung des Anteils HFKW-freier Verfahren. Dabei soll der HFKW-152a – auf vermindertem Niveau – dem HFKW-134a weichen, der bekanntlich einen höheren Treibhauseffekt aufweist. Das erschwert Prognosen über den Treibhauseffekt der Emissionen.

Der Marktführer, der gegenwärtig große Mengen des HFKW-134a einsetzt, weist darauf hin, dass seine europaweite Produktpalette vorwiegend HFKW-frei sei und Deutschland mehr oder weniger zufällig der Standort für diejenigen Produktsegmente (dickere Platten) sei, bei denen der Verzicht auf 134a Verzicht auf optimale Dämmung bedeute. Diese Produkte mit 134a werden zu 75% exportiert.

Teil I. HFKW-Inlandsverbrauch und Fertigungsemissionen

1. Aktivitätsdaten I. Inländ. Neuverbrauch von 134a und 152a zur Fertigung

Ausgangsdaten zur Bestimmung des HFKW-Inlandsverbrauchs sind die mit den beiden HFKW jährlich produzierten Gesamtvolumina an XPS-Dämmstoff (in m³). Diese waren in den Jahren 2001 und 2002 wie folgt (Tab. 1):

Tab. 1: Inlandsfertigung von XPS-Dämmstoff in Tsd. m ³ in 2001 u. 2002		
	mit HFKW-152a	mit HFKW-134a
2001	383	516
2002	476	625

Quelle: Fachverband FPX.

Im Falle von 134a werden zur Herstellung eines Kubikmeters XPS-Schaum 3,2 kg benötigt, bei 152a sind es 3,0 kg. Aus den mit Hilfe von HFKW erzeugten jährlichen XPS-Gesamt Mengen in m³ (Tab. 1) lässt sich der jeweilige HFKW-Neuverbrauch im Inland zur Fertigung (C_{manu}) von XPS-Dämmstoff ermitteln nach Gleichung 1:

Gleichung 1			
$C_{\text{manu}} 152a$ (in kg)	=	XPS _(152a) in m ³	x 3,0 kg/m ³
$C_{\text{manu}} 134a$ (in kg)	=	XPS _(134a) in m ³	x 3,2 kg/m ³

Erläuterung: $C_{\text{manu}} 152a / C_{\text{manu}} 134a$: Inlandsverbrauch von 152a bzw. 134a. $\text{XPS}_{(152a)} / \text{XPS}_{(134a)}$: XPS-Dämmstoff, der mit Hilfe von 152a bzw. 134a hergestellt wird.

Der Inlands-Neuverbrauch (C_{manu}) von HFKW war 2001 und 2002 wie folgt (t/a):

Tab. 2: Inländischer HFKW-Neuverbrauch zur Fertigung von XPS-Dämmstoffen		
	HFKW-152a	HFKW-134a
2001	1.150 t	1.650 t
2002	1.428 t	2.000 t

Quellen: Tab. 1 und Gleichung 1.

2. Emissionsraten I. Emissionsfaktoren der Fertigung

Der HFKW-Erstjahresverlust bei und nach der Fertigung (EF_{manu}) oder englisch "First Year Loss Emission Factor" wird als Prozentsatz des jährlichen Inlandsverbrauchs zur Fertigung (C_{manu}) ausgedrückt. Er beträgt für den HFKW-152a praktisch 100%, so dass es sich um eine direkte offene Anwendung handelt. Das Gas dient als Treibmittel und Zellbildner, nicht als Dämmgas. Nur geringe Restmengen emittieren nicht sofort. Sie bleiben noch wenige Wochen oder Monate im Schaum, werden aber hier nicht weiter berücksichtigt.

Tab. 3: Emissionsfaktoren (EF_{manu}) bei der XPS-Fertigung nach HFKW-Typ		
	HFKW-152a	HFKW-134a
2001	100%	30%
2002	100%	27%

Quellen: Teil II, 7. Die Emissionsfaktoren sind Prozentsätze des Inlandsverbrauchs (C_{manu}).

Beim HFKW-134a emittiert bei der Schäumung nur eine Teilmenge des Verbrauchs, der Hauptteil geht ins Produkt ein. Empirisch wurde der EF_{manu} in 2001 mit 30%, in 2002 mit 27% bestimmt. Als angestrebter Wert gelten 25% des Inlandsverbrauchs.

3. Fertigungsemissionen von 152a und 134a

Aus den Daten in Tab. 2 und 3 lassen sich die absoluten Fertigungsemissionen für beide HFKW-Typen ermitteln. Da 152a im ersten Jahr vollständig emittiert, sind seine Emissionen (im Jahr n) genauso groß wie sein Inlandsverbrauch C_{manu} im Jahr n. Vom Inlandsverbrauch C_{manu} von 134a emittierten im ersten Jahr 30% bzw. 27%.

Tab. 4: HFKW-Inlandsverbrauch und Fertigungsemissionen für 152a und 134a				
	HFKW-152a		HFKW-134a	
	Inlandsverbrauch	Fert.-Emission	Inlandsverbrauch	Fert.-Emission
2001	1.150 t	1.150 t	1.650 t	495 t
2002	1.428 t	1.428 t	2.000 t	540 t

Quellen: Daten aus Tab. 2 und Tab. 3.

Kommentar zur Zeitreihe

Die Fertigungsemissionen entwickeln sich grundsätzlich proportional zum jährlichen HFKW-Inlandsverbrauch. Ohne weitere gesetzliche Maßnahmen und bei einer jährlichen Wachstumsrate von +2% sowohl bei den mit 152a, als auch bei den mit 134a geschäumten Dämmplatten ist bis 2020 ein Anstieg bei 152a (Verbrauch/Emission) auf 2.040 t möglich. Der Verbrauch von 134a könnte unter gleichen Bedingungen auf 2.850 t zunehmen, von denen bei der Produktion 25% bzw. 714 t emittieren.

4. Datenermittlung und –quellen. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle I

Ermittlung und Informationsquellen für Aktivitätsdaten I und Emissionsraten I werden in Teil II (Bestand und Bestandsemissionen) an entsprechender Stelle mit erörtert. Dies gilt auch für die Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode und Eintrag in CRF I

Das Verhältnis zur IPCC-Methode und der Eintrag in CRF werden ebenfalls zusammen mit Bestand und Bestandsemission im zweiten Teil mit erörtert.

Teil II: HFKW-Bestand und laufende Emissionen vom Bestand

6. Aktivitätsdaten II. Bestand zum Jahresende und mittlerer Bestand

6.a Bestand bildende HFKW-134a in XPS-Dämmstoff

Der inländische HFKW-Bestand in XPS-Dämmstoff erhöht sich jährlich durch Neuzugänge (In_{bank}) von 134a-haltigen Dämmplatten. (Dämmplatten, die 152a enthalten, gibt es nicht.) Abgänge vom Bestand (De_{bank}) spielen bei einer Lebensdauer von 50 Jahren bis auf weiteres noch keine Rolle.

1. Wird vom Außenhandel abgesehen, ist der HFKW-Neuzugang gleich jährlichem Neuverbrauch (C_{manu}) abzgl. Fertigungsemissionen (Em_{manu}). Nach Tab. 3 betrugen diese 30% und 27%. C_{manu} minus Em_{manu} ergibt die in XPS-Produkten enthaltene Menge HFKW-134a, die potenziell den Bestand im Inland erhöht.

2. Der Außenhandel verändert den potenziellen Neuzugang erheblich. Deutschland ist bei 134a-haltigem XPS starker Nettoexporteur. Die bereinigte Exportquote der Inlandsproduktion betrug in den Berichtsjahren 75%. ("Bereinigt" bedeutet, dass der Saldo aus Exporten und Importen 134-haltiger Produkte verwendet wird.) Anders gesagt: Nur 25% (Kehrwert der Exportquote) der nach dem Schäumprozess in den Produkten erhaltenen HFKW-134a bilden neuen inländischen HFKW-Bestand.

Der inl. 134a-Neuzugang oder der Neuverbrauch für den Inlandsmarkt (In_{bank}) im gesamten Jahr n ist nach Gleichung 2 zu bestimmen:

Gleichung 2	
Inl. Neuzugang (In_{bank}) n =	$(C_{manu} - Em_{manu}) n \times (100\% - \text{Exportquote in } \%) n$

Erläuterungen. C_{manu} : Inlandsverbrauch v. HFKW-134a. Em_{manu} : Fertigungsverlust im ersten Jahr als Prozentsatz von C_{manu} . Die Exportquote ist bezogen auf HFKW in Fertigprodukten (Inlandsverbrauch minus Fertigungsverlust). Sie wäre bei Importüberschuss negativ.

6.b Der mittlere HFKW-Bestand eines Jahres

Der Bestand, soweit er bisher definiert ist, ist der Bestand zum Ende des Jahres n (EB n). Laufende Emissionen des Jahres n werden allerdings auf den mittleren Bestand ($B n$) bezogen. Der mittlere Jahres-Bestand ($B n$) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres $n-1$ und des aktuellen Jahres n . Als Gleichung (3):

Gleichung 3	
$B n$ =	$\frac{EB n-1 + EB n}{2}$ wobei $EB n = EB n-1 + In_{bank} n$

Der mittlere Jahresbestand weist die in Tab. 5 eingetragene Zeitreihe auf (EF_{manu} 2001: 30%, EF_{manu} 2002: 27%; Exportquote 75%):

Tab. 5: Mittlerer HFKW-134a-Bestand in XPS-Dämmstoff im Inland		
	Neuzugang ins Inland 134a	Mittlerer 134a-Bestand
2001	288,8 t	144,4 t
2002	365,0 t	471,3 t

Quellen: Daten aus Tab. 4. Berechnung nach Gleichungen 2 und 3.

Kommentar zur Zeitreihe

Ein mittlerer inländischer Jahresbestand an HFKW-134a in XPS-Dämmstoffen war erstmals 2001 zu verzeichnen (Jahresendbestand von 288,8 t x 0,5). Er ist erwartungsgemäß im zweiten Anwendungsjahr kräftig gestiegen, und zwar stärker als im ersten Jahr, da sich die HFKW-Mengen in Neuzugängen erhöht haben.

7. Ermittlung der Aktivitätsdaten I und II

Alle Daten zu Aktivitätsdaten wie (a) jährliche inl. Fertigung von XPS-Dämmstoffen in m³ nach Treibmittel 152a und 134a, (b) mittlere spezifische Einsatzmengen der beiden HFKW pro Kubikmeter XPS-Schaum, (c) Fertigungsverluste für 152a und 134a, (d) Lebensdauer von XPS-Dämmplatten, (e) Außenhandel und Exportquote von HFKW-134a-haltigen XPS-Platten stammen vom deutschen Fachverband FPX, bzw. dessen Sprecher Otmar Jochum, der zugleich für den Marktführer Dow sowie die European Extruded Polystyrene Insulation Board Association EXIBA) tätig war. Mit den anderen Herstellern wurden die Daten abgeglichen.

Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen).

Persönliche Mitteilungen

FPX: Fachvereinigung Polystyrol-Extruderschaumstoff e.V. (deutsche Sektion der EXIBA - European Extruded Polystyrene Insulation Board Association) <http://www.fpx-daemmstoffe.de/>
E-Mail: info@fpx-daemmstoffe.de, Frankfurt, 02.12.02, 23.09.03.
Dow Deutschland Inc., Rheinmünster, 28.11.02; 23.09.03.
GEFINEX-JACKON GmbH, Mechau, 19.02.03.
BASF AG, Ludwigshafen, 09.07.99; 11.11.02.
Poliglas Dämmsysteme GmbH (ab 2003: URSA Deutschland GmbH), Queis, 19.02.03.
Exiba – European Extruded Polystyrene Insulation Board Association, Horgen, Schreiben vom 08.07.99.

Schriftliche Quellen

E. Boy, Ludwigshafen: Umweltfreundlich Schäumen. Polystyrol-Hartschaumstoff mit CO₂ als Treibmittel, in: Kunststoffe (Carl Hanser Verlag, München) 6/97.
GDI: Gesamtverband Dämmstoffindustrie, GDI-Baumarktstatistik 1996-2002 (Angaben in 1.000 m³, Frankfurt am Main, 01.04.2003.

8. Die Rate der laufenden Emissionen vom Bestand

Die laufenden Emissionen (EF_{op}) betragen jährlich 0,66% aus dem Bestand.

9. Informationsquellen für alle Emissionsraten

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder pers. E-Mail Adressen).

1. Fertigungsemissionen. Die Herstellungs-Emissionsrate von 100% für 152a wurde ebenso wie die Herstellungs-Emissionsrate für 134a, die von 30% in 2001 auf 27% in 2002 gesenkt werden konnte, vom Fachverband auf deutscher wie auf europäischer Ebene (FPX und EXIBA) mitgeteilt.

2. Bestandsemissionen. Der Sprecher des Fachverbands FPX schätzt die jährlichen Ausgasungen von eingeschlossenem HFKW-134a-Zellgas auf weniger als 1%, nämlich auf 0,66%. Dem zugrunde liegt u.a. eine interne Studie der BASF über die Halbwertszeit der Zellgase FCKW-12, H-FCKW-142b, H-FCKW-22, H-FKW 134a und H-FKW 152a. Der Studie zufolge liegt die Ausgasung von 134a im Tempobereich von HFCKW-142b, während HFCKW-22 und HFKW-152 praktisch sofort ausgasen. Die Diffusion aus den Platten ist dickeabhängig und kann nur als Durchschnitt bzw. als Wert für bestimmte Plattenstärken angegeben werden. Im Falle von 134a beträgt die Halbwertszeit bei 70 mm dicken Platten ca. 35 Jahre. Sie steigt mit zunehmender Dicke exponentiell an. Die 0,66% sind auf mittlere Plattenstärke bezogen.

Zum Fertigungsverlust für 152a und 134a

FPX: Fachvereinigung Polystyrol-Extruderschaumstoff e.V. (deutsche Sektion der EXIBA - European Extruded Polystyrene Insulation Board Association) <http://www.fpx-daemmstoffe.de/>
E-Mail: info@fpx-daemmstoffe.de, Frankfurt, 02.12.02; 23.09.03.

Zu laufenden Emissionen vom Bestand (134a)

Dow Deutschland Inc., Rheinmünster, 28.11.02; 23.09.03.

Weilbacher: Ausgasung von Zellgasen, Laborbericht vom 17.08.87 (überreicht von der BASF AG, Ludwigshafen), 09.07.99.

10. Laufende 134a-Emissionen aus dem Bestand seit 2001

Die lfd. Emissionen eines bestimmten Jahres ergeben sich durch Anlegen der lfd. Emissionsrate (ER) an den durch Anhäufung der Neuzugänge ins Inland (In_{bank}) entstandenen mittleren Bestand B_n jenes Jahres (vgl. Abschnitt 6.b):

ER_{op} (in %)	x	B_n
------------------	---	-------

Bei einer ER von 0,66% für die fertigen im Inland vorhandenen XPS-Dämmstoffe ergibt sich folgende Gleichung für die laufenden Emissionen:

ER_{op} (0,66 %)	x	B_n
--------------------	---	-------

Die Zeitreihe der laufenden HFKW-134a-Emissionen aus XPS-Dämmstoff lautet:

Tab. 6: Mittlerer Bestand und laufende Emissionen von HFKW-134a aus XPS-Dämmstoff im Inland		
	Mittlerer HFKW-Bestand	Laufende HFKW-Emissionen
2001	144,4 t	0,95 t
2002	471,3 t	3,11 t

Quellen: Tab. 5 in Verbindung mit der ER_{op} von 0,66%.

Kommentar

Laufende Emissionen aus dem Bestand betragen wegen der niedrigen ER von 0,66% nur einen Bruchteil der Fertigungsemissionen. Außerdem verlaufen sie proportional zum HFKW-134a-Bestand, der sich nur aus inländischen Neuzugängen nach Abzug des Exports aufbaut. Unter gleich bleibenden Rahmenbedingungen würden dank der langen Lebensdauer von XPS-Platten mittlerer Bestand und laufende Emissionen noch etwa 50 Jahre lang zunehmen. In 2020 wäre ein mittlerer Bestand von 8.600 t mit Emissionen von 57 t erreicht.

11. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle

Aktivitätsdaten. Die Produktionsmengen von XPS und Einsatzmengen der beiden HFKW 152a und 134a für 2001 und 2002 wurden vom Fachverband recherchiert – auch vor dem Hintergrund einer intendierten Selbstverpflichtung über Reduktionsziele. Zumal es nur drei Hersteller gibt, die HFKW für die XPS-Schäumung einsetzen, ist an der Datensicherheit der Aktivitätsdaten wenig zu zweifeln. Dies gilt auch für die Exportquote und die ermittelten HFKW-Produktionsemissionen beim Einsatz von 134a. Lediglich die Abschätzung der 50 Jahre Lebensdauer von 134a-haltigen XPS-Dämmplatten (für 152a ist die Lebensdauer in diesem Zusammenhang irrelevant) enthält wie alle derart langfristigen Prognosen ein Moment von Willkür, das allerdings für die Ermittlung der Gesamtemissionen mittelfristig von untergeordneter Bedeutung ist.

Emissionsraten. Die Fertigungsemissionen bei der Anwendung des HFKW-152a von 100% stimmen nicht mit den bisherigen IPCC-Schätzungen überein, wurden jedoch vom Fachverband als realistisch präsentiert. Der unmittelbare Verlust bei Anwendung von 134a (30%, 27%) beruht auf Messungen im Betrieb Rheinmünster der Dow Deutschland. Die Emissionsrate aus dem laufenden Bestand (0,66%) liegt im Bereich der üblichen Schätzungen von 1%. Da jedoch Resultate einer Laborstudie vorliegen, die etwa 0,66% ergeben, wird dieser Wert angewendet, solange es keine zuverlässigen Messungen an wirklich genutzten Dämmplatten gibt, die in der Sicherheit noch höher zu bewerten wären als Daumenregeln und Laborwerte.

12. Verhältnis zur IPCC-Methode

Die Emissionen aus geschlossenzelligem Schaum werden in IPCC GPG unter "3.7.3 Foam sub-source category" behandelt. ÖR folgt den Anforderungen, die in Box 3 des Decision Tree for Actual Emissions (Tier 2) formuliert werden: "Calculate emissions by substance and foam type, using national data, disaggregated country-specific parameters, and the Tier 2 equation, incorporating end of life data if available". Von der Entsorgung (end of life) wird allerdings noch abgesehen.

Die Tier 2 equation ist Gleichung 3.38. Sie definiert im ersten Teil die "First Year Losses from Foam Manufacture and Installation":

$$(\text{Total HFCs Used in Manufacturing New Closed-cell Foam in year } t) \times (\text{First-year Loss Emission Factor})$$

Gleichung 3.38 definiert im zweiten Teil die "annual losses from foam use" so:

$$(\text{Original HFC Charge Blown into Closed-cell Foam Manufacturing between year } t \text{ and year } t - n) \times (\text{Annual Loss Emission Factor})$$

Qualitativ deckt sich Gleichung 3.38 mit dem Vorgehen von ÖR.

Quantitative Empfehlungen zu Emissionsraten, die als default values genutzt werden könnten, wenn nationale Daten fehlen, sind in IPCC GPG rar. Zum HFKW-134a bei XPS gibt es in Table 3.18 keine Angaben, bei 152a wird ein First Year Loss von 40% vorgeschlagen, dem ein Annual Loss von 3% zeitlich folgt. Sofern es sich nicht um Druckfehler handelt, werden diese Angaben von ÖR als viel zu niedrig für das erste Jahr und zu hoch für die Folgejahre beurteilt – in Übereinstimmung mit den nationalen

und europäischen XPS-Experten. Dagegen werden die 50 Jahre für Product Life in years für akzeptabel gehalten.

13. Einträge in CRF

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products", "Average annual stocks", "Emission from manufacturing" und "Emissions from stocks" für HFC-134a und HFC-152a bei XPS-Dämmschaum primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs1, Reihen 100/101, Spalten B und C sowie H und I.

F-Gas-Blatt 19 Feuerlöschmittel

F-Gase	HFKW 227ea, HFKW-236fa
Anwendung	Feuerlöschmittel
Berichtsjahre	1998 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen (Befüllemmissionen)
Emissionstyp 2	Offene Anwendung (direkt)

Hintergrund

Seit dem Verbot von Halonen in Löschanlagen (1991) kommen zur Beflutung von feuergefährdeten Innenräumen vor allem Inertgase (Stickstoff, Argon) zum Einsatz und in Handlöschern Pulver, SO₂ oder Schaum. Vorschläge, als Halonersatz die HFKW-23, -236fa oder -227ea zu verwenden, stießen anfangs auf Widerstand der deutschen Zulassungsstellen (gleiches gilt für diverse FKW). Erst 1998 wurde der HFKW-227ea für Beflutungsanlagen zugelassen, und seit 2001 (für einige militärische Anwendungen) der HFKW-236fa. In 2002 wurde auch HFKW-23 erlaubt, der aber bis 2003 noch nicht eingesetzt worden war.

Die Situation ist den HFKW-Lösemitteln vergleichbar, wo während der Phase des Verbots ozonschichtschädigender Substanzen ohne fluorierte Alternativen zahlreiche ökologisch weniger bedenkliche Stoffe und Verfahren auf den Markt kamen, was das Marktpotenzial für schließlich doch (restriktiv) zugelassene HFKW in Grenzen hält.

Verbrauch und Emissionen von HFKW als Feuerlöschmittel sind daher mäßig.

Die HFKW-Feuerlöschmittel werden importiert, teils aus Nordamerika, teils aus Spanien, und in Deutschland in – meist ortsfeste - Anlagen gefüllt. Import oder Export bereits befüllter Anlagen kommt praktisch nicht vor.

Anders als etwa bei Pkw-Klimaanlagen ist der jährliche HFKW-Neuzugang in inländische Anlagen daher nicht verschieden von der im Inland in Neuanlagen gefüllten Menge (HFKW-Neuverbrauch).

I. HFKW-Neuzugang ins Inland und Bestands-Emissionen

1. Aktivitätsdaten. Zugang von HFKW als Feuerlöschmittel

Für HFKW-227ea wird die neu in inl. Anlagen gefüllte Menge (In_{bank}) seit 1998 jährlich an das Umweltbundesamt sowie an ÖR direkt von der Industrie mitgeteilt. Über die entsprechenden Mengen von HFKW-236fa wird das Umweltbundesamt jährlich von der Zulassungsstelle in Freiberg (Sachsen) informiert. Tab. 1 enthält die Daten.

Tab. 1: Jährlich in inl. Anlagen gefüllte HFKW-Mengen als Feuerlöschmittel in t/a		
	HFKW-227ea	HFKW-236fa
1998	2,429	-
1999	4,294	-
2000	80,256	-
2001	66,997	0,454
2002	32,743	1,998

Quelle: Meldungen aus Industrie und Zulassungsstellen.

2. Der mittlere HFKW-Bestand in Löschanlagen

Der durch Addierung aller bis Ende des Jahres n erfolgten Neuzugänge in inländische Löschanlagen entstehende Bestand ist der Bestand zum Ende des Jahres n (EB_n), solange noch keine Abgänge (De_{bank}) zu berücksichtigen sind.

Lfd. Emissionen des Jahres n werden auf den mittleren Bestand (B_n) bezogen. Dieser ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres $n-1$ und des aktuellen Jahres n . Als Gleichung:

Gleichung			
B_n	=	$\frac{EB_{n-1} + EB_n}{2}$	wobei $EB_n = EB_{n-1} + In_{bank\ n}$

Die jährl. Endbestände (EB) seit 1998 sind die Summe der Neubefüllungen lt. Tab. 1. Der mittlere Bestand (B) ergibt sich nach der Gleichung aus je zwei aufeinander folgenden Endbeständen. Beides ist in Tab. 2 eingetragen.

Tab. 2: Endbestände und mittlerer HFKW-Bestand in Löschanlagen in t/a				
	HFKW-227ea		HFKW-236fa	
	Endbestand	Mittl. Bestand	Endbestand	Mittl. Bestand
1998	2,429	1,21		
1999	6,723	4,58		
2000	86,979	46,85		
2001	153,976	120,48	0,454	0,227
2002	186,719	170,35	2,452	1,453

Quelle: Tab. 1 in Verbindung mit oben stehender Gleichung.

Kommentar zu den Aktivitätsdaten

Nach zögerlichem Beginn im Jahre 1998 gab es beim quantitativ bedeutenderen Feuerlöschmittel HFKW-227ea einen Aufschwung im Jahr 2000. Die Neufüllmenge

betrug 80 t. Seitdem ist der Jahreszugang wieder rückläufig, was sich in verlangsamtem Aufbau der Bestände in Löschanlagen äußert. Ob diese Tendenz vorübergehender Natur ist oder auf eine Sättigung hinweist, ist noch unklar.

3. Laufende absolute HFKW-227ea-Emissionen vom Bestand

Die Industriemeldungen über Emissionen von 227ea gehen sehr ins Detail, so dass dazu absolute Mengendaten vorliegen, untergliedert in vier Quellen (Tab. 3):

Tab. 3. Emissionen von HFKW-227ea aus Löschanlagen nach Quellen ab 1999 in t/a					
	Gesamt [total]	1. Feuer [fire]	2. Schwund [leakage]	3. Fehlauslösung [false alarm]	4. Probefluten [flooding]
1999	0,171				0,171
2000	0,512	0,21			0,302
2001	0,780	0,16	0,1	0,106	0,414
2002	0,996	0,175	0,038	0,783	0

Quelle: Kidde-Deugra.

Kommentar

Die im Zuge der Wartung der Löschanlagen festgestellten Löschmittelverluste (2002: knapp 1 t) gingen in den ersten Jahren vor allem auf Probefluten zurück, das im Jahr 2002 nicht praktiziert wurde. Der bestimmungsgemäße Verlust durch Feuerlöschen spielt bisher nur eine untergeordnete Rolle neben falschem Alarm und Leckagen.

4. Die Rate der laufenden Emissionen

Aus den vorliegenden Daten zum mittlerem Bestand (für 227ea und 236fa) und lfd. Emissionen (für 227ea) lassen sich implizite Emissionsraten (ER_{op}) in % ermitteln.

Tab. 4 zeigt für den HFKW-227ea in der dritten Spalte die implizite prozentuale Emissionsrate ER_{op} . Sie ergibt sich, indem die (gemeldeten) laufenden absoluten Emissionen (Tab. 3) auf den mittleren Bestand in den Löschanlagen (Tab. 2) bezogen werden. Die Werte sinken von 3,7% über 1,1% auf 0,6% (ab 2001).

Tab. 4: Bestand und lfd. Emissionen von HFKW-227ea und -236fa seit 1998 in t/a						
Jahr	HFKW-227ea			HFKW-236fa		
	mittl. Bestand	lfd. Em.	ER_{op} in %	mittl. Bestand	lfd. Em.	ER_{op} in %
1998	1,21					
1999	4,58	0,171	3,7%			
2000	46,85	0,512	1,1%			
2001	120,48	0,780	0,6%	0,227	0,002	1%*
2002	170,35	0,996	0,6%	1,453	0,014	1%*

Quellen: Tab. 2 und Tab. 3. für 227ea. * Eigenwerte mangels Meldedaten.

Zu den Emissionen von 236fa gibt es bisher keine Angaben (von den in Teil II angeführten gemeldeten offenen Anwendungsemissionen bei Versuchen abgesehen). Um dennoch vorläufige Zahlen zu lfd. Anlagen-Emissionen zu erhalten, wurde in Tab. 4 auf den mittl. 236fa-Bestand eine ER_{op} von 1% (letzte Spalte) angelegt, die in der Größenordnung der ER_{op} von 227ea (über 4 Jahre hinweg) liegt. Daraus wurden die in der vorletzten Spalte der Tab. 4 eingetragenen lfd. Emissionen in t/a errechnet.

Die Rate der laufenden Emissionen (ER_{op}) dürfte generell im Bereich um 1% liegen.

5. Ermittlung der Daten und Informationsquellen I

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen).

Für das Löschmittel 227ea werden sowohl die zur Befüllung eingesetzten Mengen als auch die festgestellten Emissionen (ihrerseits untergliedert nach vier Quellen) seit 1998 jährlich dem UBA sowie ÖR direkt vom Marktführer Kidde-Deugra mitgeteilt.

Außer dem Marktführer gibt es noch zwei Anbieter dieses Löschmittels. Einer der beiden bezieht es bei Kidde-Deugra, so dass die Daten in der Meldung enthalten sind. Der Marktanteil des dritten Anbieters beträgt recht konstant etwa 5%. Auch dessen Daten sind via Hochrechnung in der Meldung von Kidde-Deugra enthalten.

Die Daten zu 236fa werden dem Umweltbundesamt von der Zulassungsstelle Freiberg in Sachsen mitgeteilt.

Persönliche Mitteilungen

Kidde Deugra Brandschutzsysteme GmbH, Ratingen, 19.07.99; 15.01.02; 23.09.03.

Amtliche Prüfstelle für Feuerlöschmittel und – gerät bei der Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen Dresden, Außenstelle Freiberg, Mitt. an das Umweltbundesamt 02.07.03.

6. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Die Meldungen aus der Industrie über die Befüllungen mit HFKW-227ea sind als sehr zuverlässig zu betrachten, da geringe Unsicherheiten überhaupt nur über den mit konstantem Marktanteil von 5% geschätzten "dritten" Anbieter zustande kommen können. Der Fehlerspielraum ist nicht größer als $\pm 1\%$ zu bewerten. Bei 236fa sind die Mengenangaben absolut korrekt.

Emissionsraten. Die für 227ea mitgeteilten Emissionen gehören zu den exaktesten, die im Rahmen der HFKW-Berichterstattung vorkommen. Interessant ist, dass es keine für mehrere Jahre konstante ER gibt. Die absoluten Angaben bestätigen jedoch die Größenordnung im Bereich von 1%. Insofern dürfte der 1%-Wert für die ER bei 236fa im vertretbaren Bereich liegen. ÖR schätzt die Verluste bei 236fa eher höher ein, da die Löschanlagen nicht ortsfest sind, sondern in militärischen Fahrzeugen (Panzern) installiert sind.

7. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Im IPCC-GPG gibt es einen Abschnitt "3.7.6 Fire protection sub-source category". Darin wird ein recht grober "sales-based top-down approach" vorgeschlagen, um die Emissionen zu ermitteln. Ein "bottom-up Tier 2 approach" gilt als "not suitable for the fire protection sub-source category". Grund: "The required activity data do not exist for most countries".

Da in Deutschland die Aktivitätsdaten vorliegen, wird von ÖR dennoch ein "bottom-up Ansatz gewählt.

IPCC-GPG war zum Zeitpunkt seiner Veröffentlichung noch nicht auf der Höhe der heutigen Zeit. Das zeigen die "default emission parameters" in Table 3.26. Für Flooding aus fixed systems werden 5% Emissionen angenommen, ein Wert, der auf HTOC (1998) zurückgeht. Sicherlich wird eine überarbeitete Fassung des IPCC-GPG die Verhältnisse der Nach-Halon-Ära besser aufnehmen.

Als durchschnittliche Lebensdauer von Feuerlöschanlagen werden bis zu 35 Jahren angenommen. Dieser Wert wird auch von ÖR für möglich gehalten.

8. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu Feuerlöschmitteln primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs2, Reihen 10 und 11. Die aus den Neuzugängen entstandenen Bestände sind unter C ("stocks") eingetragen, die laufenden Emissionen in Spalte I ("emissions from stocks").

II. Inländischer HFKW-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

9. Neuverbrauch zur Befüllung und Befüllemissionen

Da quasi kein Außenhandel mit befüllten Löschanlagen vorkommt, sind die in Tab. 1 eingetragenen Neuzugänge in inl. Anlagen im Prinzip identisch mit dem inländischen Neuverbrauch für Befüllungen ($In_{bank} \sim C_{manu}$). Streng genommen ist, bei Abwesenheit von Außenhandel, der inl. Verbrauch immer etwas größer als die eingefüllte Menge, da Befüllverluste zu berücksichtigen sind. Generell wird jedoch in diesem Bericht diese Differenz nicht beachtet, zumal sie letztlich unbedeutend ist. Dies ist auch bei Feuerlöschgerät der Fall.

Im Falle von 236fa kommen weitere Emissionen dazu, die nicht in Anlagen gefüllt wurden, nämlich offene Anwendungen im Rahmen von Eignungsversuchen.

10. Emissionsfaktor der Löschanlagen-Befüllung 0,1%

Vom führenden Aufsteller und Befüller von HFKW-227ea-Löschanlagen, Kidde-Deugra, wurde der Verlust bei Befüllung spontan auf "etwa 1 Promille" geschätzt. Auf Nachfrage wurden 5 g pro Flasche angegeben. Da 5 g mit 0,1% nur übereinstimmen, wenn die Flasche 5 kg Inhalt hat, wird der Prozentsatz als Obergrenze genommen, da in der Realität das Spektrum der Flaschengrößen von 3 kg bis 200 kg reicht. Die Befüllemissionen werden hier ermittelt, indem der Emissionsfaktor (EF_{manu}) von 0,1% an den jährlichen Neuverbrauch (C_{manu}) angelegt wird, der mit dem Neuzugang (In_{bank}) größengleich ist. Dieser ist in Tab. 1 aufgeführt und wird in Tab. 5 als "Neubefüllung" noch einmal mit gleichem Umfang eingetragen. Neben der Neufüllung zeigt Tab. 5 die Befüllverluste von 0,1%.

Tab. 5: Neufüllungen und Befüllemissionen von HFKW-227ea und –236fa bei Löschanlagen in t/a				
	HFKW-227ea		HFKW-236fa	
	Neubefüllung	Befüllemiss.	Neubefüllung	Befüllemiss
1998	2,429	0,002	-	-
1999	4,294	0,004	-	-
2000	80,256	0,080	-	-
2001	66,997	0,067	0,454	0,0005
2002	32,743	0,033	1,998	0,002

Quelle: Tab. 1 und Emissionsfaktor der Befüllung (EF_{manu}) von 0,1%.

11. Zusätzlich: Testverbrauch und Anwendungsemissionen von HFKW-236fa

Vor der Einführung des Feuerlöschmittels 236fa wurden Eignungstests durchgeführt, bei denen keine Anlagen befüllt wurden. Der HFKW-Einsatz bzw. -Verbrauch wurde direkt zu Anwendungsemissionen. Auch diese Mengen sind bekannt (Tab. 6).

Tab. 6: Testverbrauch und Anwendungsemissionen des HFKW-236fa in t/a	
	Neuverbrauch = Anwendungsemission
2001	0,260
2002	0,547

Quelle: Zulassungsstelle Freiberg (Sachsen)

12. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen II

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Die Angaben zum inländischen HFKW-Verbrauch zur Befüllung wurden schon in Teil I, 5 erörtert. Die Angabe zum Befüllverlust stammt ebenfalls von Experten bei Kidde-Deugra. Die in Teil I noch nicht erwähnten Daten zu den offenen Einsätzen des HFKW-236fa wurden dem Umweltbundesamt von der Zulassungsstelle Freiberg mitgeteilt.

Persönliche Mitteilungen

Kidde Deugra Brandschutzsysteme GmbH, Ratingen, 15.01.02; 23.09.03.

Amtliche Prüfstelle für Feuerlöschmittel und – gerät bei der Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen Dresden, Außenstelle Freiberg, Mitt. an das Umweltbundesamt 02.07.03.

13. Daten-Sicherheit und Qualitätskontrolle II

Die ER der Befüllung ist zuverlässig im Sinne einer Obergrenze (5 g pro Flasche). Sie wurde telefonisch von einem weiteren Mitarbeiter bei Kidde-Deugra bestätigt.

14. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Befüllemissionen kommen in IPCC-GPG nicht vor, weil es sich auf einen top-down-Ansatz konzentriert.

15. Eintrag in CRF II

In der CRF-Table 2(II).Fs2 werden die HFKW-Verbräuche zur inländischen Abfüllung unter "Filled in new manufactured products" und die Befüllverluste unter "Emission from manufacturing" eingetragen. Dies erfolgt für den HFKW-227ea in Reihe 10 und für den HFKW-236fa in Reihe 11, jeweils in die Spalten B und H.

Die offenen Einsätze bei den Versuchen mit 236fa sind wie die Anlagenbefüllungen mit 236fa Teil des inländischen Gesamtverbrauchs. Die Menge wird daher in Reihe 11 zu den dort eingetragenen Neubefüllungen (Spalte B) hinzuaddiert.

Ebenso werden die 236fa-Emissionen aus der offenen Anwendung (in gleicher Größe wie die Verbrauchsmengen) zusätzlich in Spalte H (Emission from manufacturing) eingetragen, wo bereits die Anlagen-Befüllemissionen eingetragen sind.

F-Gas-Blatt 20 Dosieraerosole

F-Gase	HFKW 134a, HFKW-227ea
Anwendung	Dosieraerosole (MDIs)
Berichtsjahre	1996 - 2002
Emissionstyp 3	Offene Anwendung (indirekt)
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen (Befüllemmissionen)

Hintergrund

Wegen medizinischer Sonderregelungen konkurrieren bei neuen Aerosolprodukten HFKW immer noch mit FCKW als Treibgase in Dosieraerosolen zur inhalativen Behandlung von Asthma und chronisch obstruktiver Bronchitis (COPD). Im Jahr 1996 kam das erste HFKW-getriebene Dosieraerosol auf den deutschen Markt. Bis 2002 waren es schon über zwanzig Präparate aus allen relevanten Wirkstoffgruppen, so dass der FCKW-Ausstieg bei Neuprodukten in Deutschland als einem der ersten Länder der Welt bald vollendet sein dürfte.

Die einzigen HFKW, die für Dosieraerosole eingesetzt werden und dafür besondere Reinheitsanforderungen erfüllen müssen (Pharma-Qualität), sind 134a und 227ea. Die ehemals über 400 t FCKW (11, 12, 114) werden allerdings nicht 1 zu 1 in HFKW (134a, 227ea) umgesetzt. Denn moderne Pulverinhalatoren (ohne Treibgase) haben ihren Marktanteil in den vergangenen Jahren deutlich gesteigert.

HFKW-getriebene Dosieraerosole kamen bis 2000 ausschließlich aus dem Ausland. Seit 2001 werden HFKW-Sprays auch am Stammsitz des deutschen Marktführers bei Atemwegsmedikamenten abgefüllt.

I. HFKW-Neuzugang ins Inland und Anwendungsemissionen

1. Aktivitätsdaten. Im Inland verkaufte Dosieraerosole mit HFKW

1.a Die jährlichen Apothekenverkäufe (HFKW-Volumen)

Bis 2003 gibt es Aerosoldosen in vier Größen: 5 ml, 7,5 ml, 10 ml und 12,5 ml. Da es nicht nur zahlreiche Präparate verschiedener Hersteller gibt, sondern die Präparate ihrerseits unterschiedliche Packungsgrößen und arzneiliche Wirkstärken aufweisen, haben nur Branchenexperten einen Marktüberblick. Seit 1997 erhält ÖR von den Marketingabteilungen großer Pharmaunternehmen jährlich einen bereits weitgehend aufbereiteten Datensatz über die Apothekenverkäufe aller HFKW-Dosieraerosole (DA) nach gesamter Stückzahl, durchschnittlicher Füllmenge in ml und eingesetztem Treibgas. Da 98% des Doseninhalts Treibgas sind und maximal 2% Wirkstoff und Hilfsmittel (Lösungsvermittler), wird der Doseninhalt als reiner HFKW (HFKW-Gehalt ~100%) aufgefasst. Tab. 1 zeigt die jährlichen Ausgangsdaten.

Tab. 1: Jährlich in Apotheken verkaufte Stückzahl Dosieraerosole, ihre mittlere Füllmenge (ml) und HFKW-Gesamtvolumen (Tsd. Liter) nach 134a und 227ea						
	1. DA 134a Mio. St.	2. mittl. FM ml	3. 134a Tsd. Liter	4. DA 227 Mio. St.	5. mittl. FM ml	6. 227ea Tsd Liter
1995						
1996	0,037	5,0	0,184			
1997	0,700	9,5	6,637			
1998	2,047	9,6	19,727			
1999	3,038	8,6	26,117	0,516	10	5,164
2000	4,299	8,0	34,373	2,303	10	23,029
2001	8,758	8,8	77,346	2,235	10	22,352
2002	12,624	9,3	116,968	2,512	10	25,116

Quelle: Ausgew. Pharmaunternehmen. DA = Dosieraerosole. FM = Doseninhalt (Füllmenge).

Die Menge in Tsd. Liter (Spalte 3 für 134a u. Spalte 6 für 227ea) ist das Produkt der DA in Mio. Stück (Spalten 1 bzw. 4) und der mittleren Füllmenge in ml (Spalten 2 und 5).

1.b Die im Inland abgesetzte HFKW-Gesamtmenge (HFKW-Gewicht)

1. Um die Volumina (Tsd. Liter) in Gewicht umzurechnen, wird die 134a Menge mit 1,208 (Dichte bei 20°C) und die 227ea-Menge mit 1,413 (Dichte bei 20°C) multipliziert.

2. Apothekenverkäufe stellen die große Mehrheit, aber nicht die gesamte jährlich im Inland abgegebene Stückzahl von Dosieraerosolen dar. Auf weitere 10 Prozent wird der Bedarf in Krankenhäusern geschätzt. Zusätzlich gehen 3 Prozent ebenfalls nicht über den Apothekentisch, nämlich "unverkäufliche Muster" für Ärzte von Pharmareferenten. Das im vorigen Absatz ermittelte Gewicht muss daher noch jeweils mit dem Zuschlagsfaktor 113% (100+10+3) multipliziert werden.

2. Der Anwendungs-Emissionsfaktor

Von Ärztemustern abgesehen wird die überwältigende Mehrheit der DA in Apotheken erworben, um unmittelbar danach angewendet zu werden. Die Zeitspanne zwischen

Apothekenkauf und Anwendung ist daher kurz. Wie beim Montageschaum werden daher die mit der Anwendung von Dosieraerosolen verbundenen Emissionen des Jahres n (Em_n) auf die Käufe/Verkäufe ($Sales = S$) des gleichen Jahres n bezogen. Die Emissionsrate (ER) ist 100%. Inhalierte HFKW setzen sich in den Atemwegen nicht um, sondern gelangen beim Ausatmen unverändert in die Atmosphäre.

$Em_n = S_n \times ER (100\%) \quad \text{oder:} \quad \text{Emission } n = \text{Verkäufe (Dosenabsatz)} n \times 100\%$

Bezugsgröße für die Emissionen ist nicht die Summe der halben Käufe (Verkäufe) des Jahres $n-1$ und des Jahres n . So zu verfahren, böte sich an, wenn nicht verkaufte, sondern produzierte Dosen als Daten vorlägen, weil zwischen Produktion und Anwendung tatsächlich viel Zeit für Transport- und Lagerung vergeht.

3. Inländische Anwendungs-Emissionen seit 1996

Absatz und Anwendungs-Emissionen sind nicht ganz identisch, sondern zeitlich um einige Wochen verschoben. Sie werden hier aber für ein gegebenes Jahr als größengleich betrachtet. Tab. 2 gibt für die beiden pharmazeutischen HFKW zwei – identische - Zeitreihen wieder, je eine für Absatz und Emission.

Tab. 2: Absatz/Emission von HFKW-134a und –227ea in medizinischen Dosieraerosolen seit 1996 in t/a				
Jahr	HFKW-134a		HFKW-227ea	
	Absatz	Emission	Absatz	Emission
1995				
1996	0,3	0,3		
1997	9,1	9,1		
1998	26,9	26,9		
1999	35,7	35,7	8,2	8,2
2000	46,9	46,9	36,8	36,8
2001	105,6	105,6	35,7	35,7
2002	159,7	159,7	40,1	40,1

Quelle: Tab. 1. Die Volumina wurden mit der Dichte 1,208 bzw. 1,413 multipliziert und danach mit dem Zuschlagsfaktor 113% für Darreichung im Krankenhaus und Ärztemuster.

Kommentar

Der Neuzugang von HFKW (In_{bank}) im Inland durch Dosieraerosole für Patienten mit erkrankten Atemwegen ist seit 1996 kräftig gestiegen. Ein großer Sprung ist 2001 zu verzeichnen. Ab diesem Jahr wurden FCKW für die größte Wirkstoffgruppe, die kurzwirksamen Beta-Mimetika, verboten. Wegen des gestiegenen Anteils der Pulverinhalation dürften zumindest mittelfristig die früheren Einsatzmengen von FCKW mit über 400 t/a nicht erreicht werden. Ende 2002 wurden 200 t HFKW in DA im Inland abgesetzt. Allerdings kamen noch fast 100 t FCKW in DA jährlich auf den Markt, die bis 2005 weitgehend ersetzt werden müssen.

4. Ermittlung der Daten und Informationsquellen I

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Der Verkauf der tief gestaffelten Produktpalette der Apotheken an Endkunden wird alljährlich von Spezialisten aus der Pharmaindustrie zu dem in Tab. 1 dargestellten Datensatz aufbereitet und u. a. seit 1998 im "Arbeitskreis Pulverinhalation" erörtert, in dem ÖR mitarbeitet. Daten zu 1996 und zu den zusätzlichen Dosieraerosolen in Kliniken und als Ärztemuster stammen aus Fachgesprächen mit Experten der Unternehmen, die im Arbeitskreis Pulverinhalation (API) vertreten sind oder waren.

Persönliche Mitteilungen aus dem Kreis der im API vertretenen Pharmaunternehmen

Orion Pharma GmbH, Hamburg, 29.10.96.

AstraZeneca GmbH (vorm. Astra - pharma stern), Wedel.

Glaxo Smith Kline GmbH & Co. KG, München (vorm. Glaxo Wellcome, Hamburg).

Die Informationen wurden alljährlich, meist in der dritten Quartalssitzung des Arbeitskreises Pulverinhalation (API) gegeben.

5. Daten-Qualitätskontrolle I

Die Datensicherheit ist generell bei Verkaufsdaten als hoch einzuschätzen. Da der Überblick über die Apothekenverkäufe allerdings nur aus Hochrechnungen entstehen kann, gibt es einen durch die Erhebungsmethode gegebenen Fehlerspielraum, der jedoch mittels Gegenkontrolle anhand der jeweils eigenen Verkaufsdaten der Unternehmen quantifiziert werden kann.

Der Zuschlagsfaktor für Krankenhäuser und Ärztemuster mag von den 13% um 2% nach oben oder unten abweichen. Wenn die wirkliche Gesamtmenge 111% oder 115% beträgt, ist sie immer noch sehr gut getroffen.

6. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Dosieraerosole (engl. metered dose inhalers – MDIs) werden in IPCC GPG unter "3.7.1 Aerosols sub-source category" in Paragraph (i) explizit angesprochen. Sie werden wie andere Aerosolprodukte behandelt.

Als default value für die Lebensdauer einer aerosol package nimmt IPCC-GPG zwei Jahre an, d.h. verteilt die im Jahre n verkaufte HFKW-Menge in den Dosen auf zwei Emissionsjahre n und n +1. Der default Emissionsfaktor bei IPCC ist daher für die Verkaufsmenge des Jahres n 50% im Jahr n und noch einmal 50% im Jahr n+1.

Die IPCC-Gleichung 3.35 lautet für den Standardfall:

$$\text{Emissions in year } t = \text{HFCs Contained in Aerosol Products Sold in year } t \times 0,5 \\ + \text{HFCs Contained in Aerosol Products Sold in year } t-1 \times (1 - 0,5).$$

Diese Gleichung wird, wie in Abschnitt 2 dargelegt, von ÖR bewusst nicht benutzt. Angesichts eines stark wachsenden Markts würden die Emissionen des Jahres n unterschätzt, wenn sie den ein halbes Jahr vorher (in MDIs) verkauften HFKW gleichgesetzt würden. Eine so lange Zeitverzögerung ist unrealistisch. Die übliche Verbrauchsphase von MDIs dauert selbst im Falle einer Doppelpackung ab Apothekenkauf nicht länger als zwei Monate. Da ÖR von den Apothekenverkäufen

ausgeht, liegt hier ein "country-specific emission factor" vor, der in anderen Ländern nicht so gehandhabt zu werden braucht.

In Bezug auf die activity data entspricht die Methode von ÖR einem bottom-up-Ansatz. Sämtliche Mengendaten stammen von Pharmaunternehmen.

7. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu Dosieraerosolen primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs2, Reihen 14 und 15. Die Inlandsmengen von 134a und 227ea sind unter dem Aspekt des Doseninhalts in Spalte C ("stocks"), die gleichen Mengen als Emission aus jenen Dosen in Spalte I ("emissions from stocks") erneut eingetragen.

II. HFKW-Neuverbrauch zur Befüllung und Fertigungsemissionen

8. Neuverbrauch zur Abfüllung und Befüll-Emissionen seit 2000

In Deutschland gab es bis 2003 nur einen einzigen Abfüller HFKW-haltiger Dosieraerosole (nur 134a), und zwar seit dem Jahr 2001. Er teilte seine Verbrauchsmengen (C_{manu}) ebenso mit wie seine Abfüllverluste (Em_{manu}). S. Tab. 3.

Tab. 3: HFKW-Neuverbrauch für die Befüllung von Dosieraerosolen im Inland in t/a und Befüll-Emissionen in t/a seit 2000		
Jahr	HFKW-134a	
	Neu-Verbrauch	Befüll-Emissionen
2000	-	-
2001	99	1,5
2002	134,2	1,6

Quelle: Boehringer-Ingelheim Pharma KG.

9. Impliziter Emissionsfaktor der Befüllung

Die im Betrieb sehr exakt ermittelten Befüllemmissionen betragen implizit etwa 1%, bezogen auf den Neuverbrauch zur Befüllung. Die 1,5 t Emissionen sind umgerechnet etwa 0,15 g pro 10 ml-Dose. Die Emissionen wären um 0,75 t höher, wenn diese Menge nicht mithilfe einer Kältefalle (Crysumat) aufgefangen und der Verbrennung zugeführt worden wäre.

10. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen II

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Die Angaben zum inländischen HFKW-Verbrauch und den Befüllverlusten (einschließlich der Rückgewinnung) stammen direkt aus dem Unternehmen.

Persönliche Mitteilungen

Boehringer-Ingelheim Pharma KG, Ingelheim, 19.11.02, Schreiben an ÖR 30.09.03.

11. Daten-Sicherheit und Qualitätskontrolle II

Die Datensicherheit ist sehr hoch zu bewerten. Eine Gegenkontrolle erübrigt sich.

12. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Bei Aerosolen schlägt IPCC-GPG generell keine default values für Befüllverluste vor.

13. Eintrag in CRF II

In der CRF-Table 2(II).Fs2 werden die HFKW-Verbräuche zur inländischen Abfüllung unter "Filled in new manufactured products" und die Befüllverluste unter "Emission from manufacturing" eingetragen. Dies erfolgt für den HFKW-134a in Reihe 14 in den Spalten B und H.

F-Gas-Blatt 21 Allgemeine Aerosole

F-Gase	HFKW 134a, HFKW-152a
Anwendung	Allgemeine Aerosole
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 3	Offene Anwendung (indirekt)
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen (Befüllemmissionen)

Hintergrund

Im Inland werden sechs Arten allgemeiner Aerosole (ohne medizinische Sprays und ohne Novelties) mit HFKW verkauft: 1. Druckluftsprays (30-40%), 2. Kältesprays (30%), 3. Abflussreiniger-Sprays (30%), 4. Schmiermittelsprays (2%), 5. Insektizide (2%) und 6. Abwehrsprays (2%). Wegen der mengenmäßig großen Bedeutung der im Haushalt benutzten Abflussreiniger-Sprays wird hier nicht von Technischen, sondern von Allgemeinen Aerosolen gesprochen. Es sollte allerdings darauf verwiesen werden, dass fluoriierte Treibgase in Aerosolen, gemessen an den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts, in den Anwendungsmengen um über 99% reduziert wurden.

Die inl. HFKW-Abfüllmenge beträgt seit 1995 konstant um die 160 t/a HFKW (95% 134a, 5% 152a). Es gibt drei dt. Abfüllbetriebe: IG-Sprühtechnik in Wehr/Baden und TUNAP Deutschland in Wolfratshausen/Bayern sowie Hago in Landsberg am Lech, der aber nach eigenen Angaben nur von Fall zu Fall abfüllt.

Der Inlandsmarkt wird auch von Unternehmen bedient, die im Ausland, vor allem in Belgien, abfüllen lassen. Im Druckluft- und Kältespray-Bereich sind es vor allem CRC Kontakt Chemie mit dt. Sitz in Iffezheim sowie Electrolube mit dt. Sitz in Köln.

Importe und Exporte von technischen Aerosolen halten sich die Waage, so dass der Inlandsmarkt mit dem Verbrauch für die inländische Abfüllung gleichgesetzt werden kann. Nach der Mehrheit der Ansprechpartner hat es seit 1995 keine Steigerung im Markt gegeben.

I. HFKW-Neuzugang ins Inland und Anwendungs-Emissionen

1. Aktivitätsdaten (eingesetzte Mengen) und Emissionsverhalten

Aerosoldosen enthalten 150 bis 400 ml HFKW als Treibgas. Die HFKW werden bei Anwendung bestimmungsgemäß entleert und damit ganz zu Emissionen. Von der in Deutschland abgesetzten Zahl von Dosen wird angenommen, dass eine Hälfte noch im gleichen und die andere Hälfte im folgenden Jahr verbraucht wird. In Bezug auf die HFKW in den Dosen wird der jährl. Neuzugang ins Inland (In_{bank}) im Jahre $n-1$ daher zur einen Hälfte im gleichen Jahr und zur anderen Hälfte im folgenden Jahr n angewendet. Im Jahr n wird außerdem die erste Hälfte von $In_{bank\ n}$ verwendet, usw. Die Gleichung für die Anwendungsemissionen lautet wie folgt:

Gleichung
$Emission\ n = Absatz\ im\ Inland_{n-1} \times 50\% + Absatz\ im\ Inland_n \times 50\%$
oder anders ausgedrückt:
$Emission\ n = In_{bank\ n-1} \times 50\% + In_{bank\ n} \times 50\%$

Erläuterung: n ist das laufende Jahr, $n-1$ das Vorjahr.

Diese vom IPCC vorgeschlagene Formel wird auch für technische Aerosole beibehalten, deren Anwender professionelle Nutzer und schneller im Verbrauch der Sprays sind (kürzerer Abstand zwischen Abfüllung und Emission) als etwa Käufer von Abflussreinigersprays. Diese enthalten etwa 50 t HFKW (über 200.000 Dosen à 200 ml).

2. Inländische Anwendungs-Emissionen seit 1995

Tab. 1: Absatz bzw. Anwendungs-Emissionen von HFKW-134a und –152a als Treibgas in Allgemeinen Aerosolprodukten seit 1994 in t/a				
Jahr	HFKW-134a		HFKW-152a	
	Absatz	Emission	Absatz	Emission
1994	160	160	10	10
1995	160	160	10	10
1996	160	160	10	10
1997	160	160	10	10
1998	160	160	10	10
1999	160	160	10	10
2000	160	160	10	10
2001	160	160	10	10
2002	160	160	10	10

Quelle: Absatzzahlen lt. IGA. Emissionen nach obiger Gleichung.

Kommentar

Der HFKW-152a dient vor allem zur Erniedrigung des Dosen-Innendrucks von sonst mit 134a gefüllten Behältnissen. Inländischer Markt und damit Emissionen zeigen für beide HFKW seit 1995 einen konstanten Verlauf, je 160 bzw. 10 t alljährlich.

3. Ermittlung der Daten und Informationsquellen I

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Daten zu Allgemeinen Aerosolen (Absatzzahlen, HFKW-Typ, Verwendungszwecke) wurden durch ÖR seit 1999 bei inländischen Vertriebs- und Abfüllbetrieben erfragt, zunächst nur zu Technischen Sprays. Im Jahr 2003 wurden die Daten einer gründlichen Revision (auch rückwirkend) unterzogen, und zwar vor allem zusammen mit der Industriegemeinschaft Aerosole (IGA) e.V. im VCI und dem Sprecher der Abfüllbetriebe bei der IGA, Lothar Stockert.

Persönliche Mitteilungen

CRC-Kontakt-Chemie – Technische Aerosole GmbH, Iffezheim, Schreiben an ÖR 11.8.99.

Electrolube Germany, Köln, 17.10. 02.

Industriegemeinschaft Aerosole e.V. im VCI, Frankfurt am Main, Schreiben an ÖR 04.03.03, 01.07.03.

IG-Sprühtechnik, Wehr, 02.07.03.

Tunap Deutschland, Wolfratshausen, 01.07.03

Schriftliche Quellen

Meeh, Peter: Sichere Kältesprays, in rfe – Radio Fernseh Elektronik 5/1998.

Öko-Recherche: Emissionen und Minderungspotential von HFKW, FKW und SF₆ in Deutschland, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Frankfurt am Main, Oktober 1999.
<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/vollHFKW.pdf>.

4. Daten-Qualitätskontrolle I

Die Datensicherheit ist generell bei Verkaufsdaten als hoch einzuschätzen. Unabhängig voneinander gaben die im Ausland abfüllenden Firmen in etwa die gleiche Marktgröße des Inlands für Druckluft- und Kältesprays (zusammen 100 t) an wie die inländischen Abfüller und die Industriegemeinschaft. Der Abflussreiniger wird nur von einem einzigen Unternehmen abgefüllt, das die Menge auf knapp 50 t bezifferte. Die Verbandsangabe (IGA) von 160 t für diese drei Produkte sowie die drei weiteren kleinen Anwendungen ist daher in hohem Maße plausibel.

Die Konstanz der Zahl von 160 plus 10 t über alle Jahre hinweg legt allerdings nahe, dass die Verkaufszahlen zu Größen zusammengefasst wurden, die die realen Marktschwankungen nicht berücksichtigen. Eine Datenverbesserung könnte künftig im Zusammenhang mit dem nov. Umweltstatistikgesetz erfolgen.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Die oben angeführten Produkte werden in IPCC GPG unter "3.7.1 Aerosols sub-source category" behandelt, und zwar bei "(iv) Industrial Products (e.g. special cleaning sprays, lubricants, pipe-freezers)", sowie im Falle des Abfluss-Sprays bei "(iii) Household Products".

Als default value für die Lebensdauer einer aerosol package nimmt IPCC-GPG zwei Jahre an, d.h. IPCC verteilt die im Jahre n verkaufte HFKW-Menge in den Dosen auf zwei Emissionsjahre n und n+1. Im Falle gleichmäßigen Verbrauchs über die Zeit ist der default Emissionsfaktor bei IPCC für die Verkaufsmenge des Jahres n 50% im Jahr n und noch einmal 50% im Jahr n+1.

Die IPCC-Gleichung 3.35 lautet für den Standardfall:

$$\text{Emissions in year } t = \text{HFCs Contained in Aerosol Products Sold in year } t \times 0,5 \\ + \text{HFCs Contained in Aerosol Products Sold in year } t-1 \times (1 - 0,5).$$

Diese Gleichung wird von ÖR verwendet.

In Bezug auf die activity data entspricht die Methode von ÖR einem bottom-up-Ansatz. Sämtliche Mengendaten, einschließlich derjenigen zum (ausgeglichenen) Außenhandel, stammen direkt von Abfüllern und Vertreibern bzw. der Branchenvereinigung.

6. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu Allgemeinen Aerosolen primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs2, Reihen 17 und 18. Die fürs Inland bestimmten Mengen von 134a und 152a sind unter dem Aspekt des Doseninhalts in Spalte C ("stocks") eingetragen, die gleichen Mengen sind als Emission aus jenen Dosen erneut in Spalte I ("emissions from stocks") eingetragen.

Sollten präzisere Daten zu den Inlandsabsätzen vorliegen, wird es zu Differenzen zwischen stocks und emissions from stocks kommen, sofern die IPCC-Gleichung 3.35 angewendet wird.

II. HFKW-Neuverbrauch zur Befüllung und Fertigungsemissionen

7. Aktivitätsdaten und Emissionsfaktor der Befüllung

Das CRF verlangt die Abschätzung von inländischem Neuverbrauch zur Befüllung und von bei der Befüllung (manufacturing) entstehenden HFKW-Verlusten. Der inl. Verbrauch richtet sich nicht nach der Zahl der im Inland verkauften, sondern im Inland abgefüllten Dosen – unabhängig davon, wo diese angewendet werden.

Um den HFKW-Verbrauch für die inländische Abfüllung von Allgemeinen Aerosolen und die dabei vorkommenden Befüll-Emissionen zu ermitteln, wurden die in Teil I zitierten Experten befragt, soweit sie inländische Abfüllbetriebe vertreten. Sie teilten mit, dass in Bezug auf HFKW-Mengen und HFKW-Typen die jährliche inländische Befüllung weitgehend mit dem inländischen Absatzmarkt gleichzusetzen sei, zumal sich Import und Export ausgleichen ($In_{bank} = C_{manu}$).

Die Befüllverluste wurden auf 1-2% der Abfüllmenge geschätzt, und zwar bei "optimaler Einstellung der Anlagen". ÖR verwendet eine ER von 1,5%.

8. Neuverbrauch zur Abfüllung und Befüll-Emissionen seit 1995

Infolge der Angaben der inländischen Abfüller zur Größengleichheit der abgefüllten mit den im Inland verkauften Mengen lassen sich die Daten aus Tab. 1 für den Absatz von HFKW-134a und –152a direkt auch als Verbrauch zur Abfüllung (C_{manu}) in Tab. 2 übernehmen. Die Befüllemissionen betragen jeweils 1,5% des Verbrauchs. Beide Daten (Verbrauch und Befüllemissionen) enthält Tab. 2 als Zeitreihen seit 1995.

Tab. 2: HFKW-Verbrauch für die Aerosolabfüllung im Inland in t/a und Befüll-Emissionen in t/a seit 1995				
Jahr	HFKW-134a		HFKW-152a	
	Verbrauch	Befüll-Emission	Verbrauch	Befüll-Emission
1995	160	2,4	10	0,15
1996	160	2,4	10	0,15
1997	160	2,4	10	0,15
1998	160	2,4	10	0,15
1999	160	2,4	10	0,15
2000	160	2,4	10	0,15
2001	160	2,4	10	0,15
2002	160	2,4	10	0,15

Quelle: Deutsche Abfüller für Verbrauchszahlen und Emissionsrate ($EF_{manu} = 1,5\%$).

Kommentar

Basierend auf Herstellerangaben zeigen sich jährlich die gleichen Mengen.

9. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen II

Die Angaben zum inländischen HFKW-Verbrauch für die Abfüllung seit 1995, zu verwendeten HFKW-Typen und zum Befüllverlust stammen von den gleichen Experten, die in Teil I im Abschnitt 2 angeführt sind.

10. Daten-Sicherheit und Qualitätskontrolle II

Wegen der Identität der Informationsquellen gibt es zur Datenqualität nicht Neues gegenüber Teil I, Abschnitt 4 zu sagen.

11. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Bei Aerosolen schlägt IPCC-GPG generell keine default values für Befüllverluste vor.

12. Eintrag in CRF II

In der CRF-Table 2(II).Fs2 werden die HFKW-Verbräuche zur inländischen Abfüllung unter "Filled in new manufactured products" und die Befüllverluste unter "Emission from manufacturing" eingetragen. Dies erfolgt für den HFKW-134a in Reihe 17 und für den HFKW-152a in Reihe 18, jeweils in die Spalten B und H.

F-Gas-Blatt 22 Novelty-Aerosole

F-Gase	HFKW 134a, HFKW-152a
Anwendung	Novelty Aerosole
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 3	Offene Anwendung (indirekt)

Hintergrund

Sog. Novelty Aerosole sind zwar eine (kleine) Untergruppe der Aerosole. Wegen ihrer besonderen Verwendung werden sie nicht bei den Allgemeinen Aerosolen behandelt. Diese Sprays mit HFKW-Treibmitteln sind zum Teil Dekorationssprays und zum Teil reine Spaßprodukte, wobei die Grenzen fließend sind:

- Sprays mit künstlichem Schnee,
- Sprays mit Dekorationsfarben,
- Luftschlangensprays für Feste,
- Signalhörner für Feste und Sportereignisse.

Eine EU-Richtlinie (Directive 94/48) verbietet brennbare Treibgase in Unterhaltungs- und Dekorationssprays, so dass auch deshalb HFKW-134a und kleine Mengen von 152a eingesetzt werden.

Der Inlandsmarkt wird ausschließlich durch Importe bedient, vorwiegend aus EU-Ländern.

Neuzugang ins Inland und Anwendungs-Emissionen

1. Aktivitätsdaten. HFKW-Neuzugang in EU und Deutschland

Robuste Daten über HFKW-Neuzugänge durch Novelty-Aerosole bzw. über (was grundsätzlich das selbe ist) Emissionen aus Novelty-Aerosolen in Deutschland liegen nicht vor. Grundlage für eine Schätzung ist EU-weites Datenmaterial.

Novelty-Aerosole werden in der EU von etwa 15 Abfüllern hergestellt - in Spanien, Italien, Belgien, den Niederlanden und Großbritannien. Für die im Jahr 2002 durchgeführte EU-Studie über Emissionsreduzierung von F-Gasen hat der europäische Aerosolverband FEA (Fédération Européenne des Aérosols) die in der EU für Novelty-Sprays jährlich eingesetzten HFKW-Mengen und -Typen abgeschätzt.

Diese Mengen liegen vor und werden in Tab. 1 präsentiert. Nach Rücksprache mit dem deutschen Aerosolverband IGA hat ÖR den inl. Markt generell auf zehn Prozent des EU-Markts geschätzt. Das ist weit weniger als dem deutschen Anteil an Bevölkerungszahl oder Sozialprodukt der EU entspricht. Doch sind Novelty-Sprays hierzulande längst nicht so populär wie in den oben genannten Abfüller-Ländern. Der dem Inland zugerechnete Absatz ist in Tab. 1, rechts, enthalten.

Tab. 1: HFKW-Absatz in Novelty-Aerosolen in der EU und in Deutschland seit 1995 in t/a				
Jahr	Alle 15 EU-Staaten		Deutschland	
	HFKW-134a	HFKW-152a	HFKW-134a	HFKW-152a
1995	815		81	
1996	838		83	
1997	861		86	
1998	892		89	
1999	915		91	
2000	930	10	93	1
2001	950	50	95	5
2002	950	50	95	5

Quelle: Absatz in der EU lt. FEA. Absatz in Deutschland ca. 10% der EU-Mengen.

Kommentar

Den FEA-Schätzungen liegt von 1995 bis 1999 eine Wachstumsrate des Marktes von jährlich etwa 3 v.H. zugrunde. Seit 2000 ist der Markt nur gering bis gar nicht gewachsen. Erst seit 2000 wird außer HFKW-134a auch der HFKW-152a eingesetzt. Für Deutschland gelten die gleichen Tendenzen.

2. Die Anwendungs-Emissionen seit 1995

Für die Emissionsschätzung wird, wie bei Allgemeinen Aerosolen, die Gleichung 3.35 nach IPCC-GPG angewendet.

$$\text{Emissions in year } t = \text{HFCs Contained in Aerosol Products Sold in year } t \times \text{EF} \\ + \text{HFCs Contained in Aerosol Products Sold in year } t-1 \times (1 - \text{EF}).$$

Wird für EF der Standard-Wert 0,5 eingesetzt (im laufenden Jahr emittiert die Hälfte des Absatzes des Vorjahres und die Hälfte des Absatzes des laufenden Jahres), ergeben sich die folgenden Zeitreihe für die Emissionen in Deutschland aus der Anwendung von Novelty-Sprays nach Tab. 2. Zur Beachtung: Aufgrund der Schätzformel sind Absatz und Emission nur dann gleichgroß, wenn es auch die Absätze in zwei aufeinander folgenden Jahren sind.

Tab. 2: HFKW-Absatz und HFKW-Emissionen durch Novelty-Aerosole in Deutschland seit 1995 in t/a				
Jahr	Absatz in Deutschland		Emissionen in Deutschland	
	HFKW-134a	HFKW-152a	HFKW-134a	HFKW-152a
1994	79			
1995	81		80	
1996	83		82	
1997	86		84,5	
1998	89		87,5	
1999	91		90	
2000	93	1	92	0,5
2001	95	5	94	3
2002	95	5	95	5

Quelle: Tab. 1 und Gleichung 3.35 (IPCC). Der Wert für 1994 wurde rückermittelt (-3%).

3. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen

Die Datenermittlung für Deutschland über die EU-Schätzung wurde bereits erwähnt. Außer der FEA und der deutschen IGA wurden auch diverse Internet-Seiten genutzt.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Pers. Mitteilungen

Industriegemeinschaft Aerosole e.V. im VCI, Frankfurt am Main, Schreiben an ÖR, 04.03.03, 01.07.03.

Fédération Européenne des Aérosols (FEA), Brussels <http://www.aerosol.org/> 30.11.99, 24.01.02.

WECO Pyrotechnische Fabrik GmbH, Eitorf/Sieg, www.weco-pyro.de, Mitt. an ÖR, 15.07.03.

Schriftliche Quellen

Goodmark Europe BV, The Netherlands, mit den Abfüllfirmen VAC NV, Belgium und GAC (UK) Ltd, UK: <http://www.goodmarkgroup.com/indexeur.html>

HFCs in novelty aerosols, Ch. 4.7, in: Costs and the impact on emissions of potential regulatory framework for reducing emissions of hydrofluorocarbons, perfluorocarbons and sulphur hexafluoride (final report). Prepared on behalf of the European Commission (DG ENV) by J. Harnisch (Ecofys) & W. Schwarz (Öko-Recherche), February 4, 2003, p. 40-44.

http://www.oekorecherche.de/english/berichte/volltext/ecofys_oekorecherchestudy.pdf

4. Daten-Sicherheit und Qualitätskontrolle

Die Datensicherheit und –Qualität ist für die EU-weiten Aktivitätsdaten relativ gut, auch wenn sich die FEA im Jahr 2002 erstmals ernsthaft mit dieser Frage beschäftigt hat und die Datenerhebung in Zukunft noch verbessert werden kann. Das Herunterbrechen der

EU-Daten auf den deutschen Markt mit dem Faktor 10 Prozent ist gewiss ein sehr grobes Verfahren. Es könnten möglicherweise auch nur 8 oder über 15% sein, die auf Deutschland entfallen. Die Zahlen wurden dem deutschen Branchenverband IGA zur Beurteilung vorgelegt, der sie zumindest für realistisch hielt, aber auch über keine eigenen Daten verfügt.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode

Die angeführten Produkte werden in IPCC GPG unter "3.7.1 Aerosols sub-source category" behandelt, und zwar bei "(v) Other General Products (e.g. silly string ...).

ÖR benutzt die IPCC-Gleichung 3.35 für die Emissionen:

$\text{Emissions in year } t = \text{HFCs Contained in Aerosol Products Sold in year } t \times \text{EF} \\ + \text{HFCs Contained in Aerosol Products Sold in year } t-1 \times (1 - \text{EF}).$

IPCC-GPG schlägt standardmäßig 50% als prozentualen Emissionsfaktor (EF bzw. $1 - \text{EF}$) vor. ÖR folgt dieser Empfehlung, wie bei den Allgemeinen Aerosolen auch.

In Bezug auf die activity data entspricht die Methode von ÖR zwar einem bottom-up-Ansatz (Tier 2a), weil die Mengendaten zumindest indirekt von Produzenten und Vertreibern stammen. Dennoch sind die Schätzungen äußerst grob. Eine gute Statistik der Importströme von Novelty-Sprays im Rahmen eines Top-down-Ansatzes (Tier 2b) würde die Datenqualität deutlich erhöhen.

6. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu Novelty-Aerosolen primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs2, Reihen 20 und 21. Die Inlandsabsätze von 134a und 152a sind in Spalte C ("stocks") eingetragen, die wegen der Schätzformel leicht abweichenden Emissionen ($\text{Absatz } n \times 0,5 + \text{Absatz } n-1 \times 0,5$) aus den Dosen in Spalte I ("emissions from stocks").

7. Bemerkung zum Verbrauch zur Befüllung und Befüllungsemissionen

Sämtliche Novelty-Aerosole werden importiert. Im Inland gibt es keinen HFKW-Verbrauch zur Befüllung, und es fallen daher keine Befüllemmissionen an.

F-Gas-Blatt 23 Lösemittel

F-Gas	HFKW 43-10mee
Anwendung	Lösemittel
Berichtsjahre	1999 - 2002
Emissionstyp 3	Offene Anwendung (indirekt)

Hintergrund

In einigen Industriezweigen wie Elektronik, Feinmechanik, Präzisionsoptik ist die Produktoberfläche nicht nur hochempfindlich, selbst gegenüber Wasser, sondern erfordert auch ein sehr hohes Maß an Reinheit. Das Reinigungs- oder Spülmittel muss daher sowohl sehr mild, als auch wirksam in der Beseitigung selbst kleiner organischer Verschmutzungen sein, und darf außerdem keine Rückstände oder Flecken beim Trocknen hinterlassen. Unbrennbarkeit ist häufig eine zusätzliche erwünschte Eigenschaft. Nach dem Verbot des für solche Zwecke breit eingesetzten FCKW-113 kam in Deutschland eine Vielzahl halogenfreier Reinigungsmittel und -verfahren auf den Markt, so dass der FCKW-Nachfolger HFCKW-141b – im Unterschied zu anderen Ländern – praktisch nicht benötigt wurde. (Ohnehin war er durch die 2. BImSchV von 1990 für die Oberflächenreinigung verboten).

Während in vielen anderen Industrieländern gegenwärtig für den mittlerweile (2002 bzw. 2009) ebenfalls verbotenen HFCKW-141b ein HFKW-Lösemittel (vor allem 43-10mee) eingeführt wird, sind in Deutschland dessen mögliche Einsatzgebiete eng begrenzt, weil durch andere Fluide oder Verfahren besetzt.

Das ist der Hauptgrund, warum der Absatz von HFKW-43-10mee (Markenname Vertrel) sehr schleppend vorankommt, obwohl die nov. 2. BImSchV von 2001 HFKW in Ausnahmefällen zulässt.³

³ Die zuständige Behörde kann ... den Einsatz von leichtflüchtigen teilfluorierten Kohlenwasserstoffen in technisch reiner Form oder im Gemisch mit trans-1,2-Dichlorethen zulassen, soweit im Einzelfall schädliche Umwelteinwirkungen und Auswirkungen auf das Klima nicht zu erwarten sind und wenn nach dem Stand der Technik für diese Anwendungen keine anderen nicht teilfluorierten Lösemittel eingesetzt werden können. (§ 17).

HFKW-Zugang im Inland und Anwendungs-Emissionen

1. Aktivitätsdaten. Eingesetzte HFKW-Mengen in Deutschland

Bis 2002 war von den HFKW-Lösemitteln lediglich der flüssige HFKW-43-10 in Gebrauch, der vom Chemieunternehmen DuPont unter dem Markennamen Vertrel angeboten wird. Der Verkauf in Deutschland erfolgt exklusiv über den Chemikalienhändler Biesterfeld mit Hauptsitz in Hamburg.

Da es nur einen einzigen Anbieter dieses HFKW gibt, müssen auf dessen Wunsch die exakten Verkaufszahlen vertraulich gehandhabt werden. Sie wurden vom deutschen Generaldistributeur an ÖR gegeben mit der Auflage, sie nicht als solche öffentlich zugänglich zu machen.

2. Die Anwendungs-Emissionen seit 1999

Für die Emissionsschätzung wird die Gleichung 3.36 nach IPCC-GPG angewendet, die sich für Märkte mit unterschiedlichen jährlichen Absatzmengen eignet:

$$\text{Emissions in year } t = \text{Quantity of Solvents Sold in year } t \times EF \\ + \text{Quantity of Solvents Sold in year } t-1 \times (1 - EF).$$

Wird für EF der Standard-Wert 0,5 eingesetzt (im laufenden Jahr emittiert die Hälfte des Absatzes des Vorjahres und die Hälfte des Absatzes des laufenden Jahres), ergibt sich folgende Zeitreihe für die Emissionen in Deutschland aus der Anwendung von HFKW-Lösemitteln (Tab. 1). Die Werte weichen, wie bei Novelties, von den Absätzen des gleichen Jahres leicht ab.

Tab. 1: Absatz und Emissionen des HFKW-Lösemittels 43-10mee in Deutschland in t/a		
Jahr	Absatz in Deutschland	Emissionen in Deutschland
1999	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2000	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2001	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2002	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht

Quelle: Absatzzahlen von Fa. Biesterfeld. Emissionsberechnung nach Gl. 3.36.

3. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen

Die Daten wurden ÖR vertraulich gegeben, und zwar vom dt. Alleinvertreiber.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Pers. Mitteilungen

Biesterfeld Chemiedistribution GmbH & Co. KG, Hamburg, 04.12.03.

DuPont de Nemours International S.A., Geneva, Switzerland, Mitteilung an das Umweltbundesamt Berlin, 30.09.03.

Schriftliche Quellen

HFCs as surface cleaning solvents, Ch. 4.8, in: Costs and the impact on emissions of potential regulatory framework for reducing emissions of hydrofluorocarbons, perfluorocarbons and sulphur hexafluoride (final report). Prepared on behalf of the European Commission (DG ENV) by Jochen Harnisch (Ecofys) & Winfried Schwarz (Öko-Recherche), February 4, 2003, p. 45-48. http://www.oekorecherche.de/english/berichte/volltext/ecofys_oekorecherchestudy.pdf

Öko-Recherche: Stand der Technik und Potentiale zur Senkung der VOC-Emissionen aus Anlagen zur Reinigung von Oberflächen, Forschungsbericht für das Umweltbundesamt, FKZ 297 44 906/2, Frankfurt am Main, November 1999.

<http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/volltext/vollVOC.pdf>.

4. Daten-Sicherheit und Qualitätskontrolle

Die Datensicherheit und –Qualität ist für Aktivitätsdaten (Verkaufszahlen) sehr gut. Sie werden vertraulich gehandhabt und hier nicht publiziert.

Der prozentuale Emissionsfaktor von 50% pro Halbjahr, der hier benutzt wird, ist der Standardwert aus IPCC-GPG. Externes Recycling verschmutzter Lösemittel, das die Lebensdauer über 1 Jahr hinaus verlängern könnte, ist nicht Praxis. Die Reinigungsanlagen sind einfache Zwei-Kammer-Anlagen für Batchbetrieb. Emissionsrückhaltung erfolgt durch Tiefkühlschlangen und durch einen Deckel, der im Betrieb geschlossen ist, aber bei der Teileentnahme bzw. –Beschickung Lösemitteldämpfe entlässt. Verdunstetes oder ausgetragenes Lösemittel wird einfach nachgefüllt.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode

Die angeführten HFKW-Lösemittel werden in IPCC GPG unter "3.7.2 Solvents sub-source category" behandelt.

ÖR benutzt für die Emissionsermittlung die vorgeschlagene Gleichung 3.36 mit ihrem "default" Emissionsfaktor 50% und folgt den Anforderungen zur Bestimmung wirklicher Emissionen (actual emissions) nach Tier 2, die im Decision Tree (3.13) in Box 2 formuliert sind: "Calculate emissions of each HFC in each end use, using bottom-up sales data and default emission factors."

6. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu Solvents primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs2, Reihe 23. Die Inlandsabsätze von 43-10mee sind in Spalte C ("stocks") eingetragen, die entsprechenden Emissionen aus den Lösemittelanlagen ($\text{Sales}_{n-1} \times 0,5 + \text{Sales}_n \times 0,5$) in Spalte I ("emissions from stocks").

7. Bemerkung zum Verbrauch zur Befüllung und zu Befüllungsemissionen

Die HFKW-Lösemittel werden nicht in Deutschland hergestellt, sondern importiert. Sie werden im Ausland in Transportbehälter befüllt, wobei gewisse Verluste entstehen, die nicht dem Inland angerechnet werden. Deshalb gibt es keine Einträge in CRF-Table 2(II).Fs2, Spalten B und H.

Unter Befüllungsemissionen ev. die Verluste beim Befüllen einer inländischen Reinigungsanlage im Inland zu verstehen, ist zwar nicht ganz abwegig. Aber die englische Bezeichnung "Amount of fluid filled in new manufactured products" drückt klar

aus, dass jener Vorgang und dabei entstehende Verluste nicht gemeint sind. Die HFKW werden nicht in Produkte gefüllt, sondern in Behältnisse, um Produkte zu reinigen.

8. Vertraulichkeit

Die Daten werden nicht als solche, sondern aggregiert mit anderen weitergeben.

Um Vertraulichkeit einzuhalten, schlägt IPCC GPG unter 3.7.2.2. vor, die Lösemittel-Daten aggregiert dem allgemeinen Aerosol-Sektor zuzurechnen, da beide Anwendungen mit 100% Emissionen (verteilt auf zwei Jahre) sind. In diesem Fall sollten die Emissionen der einzelnen F-Gase nicht nach Masse spezifiziert, sondern direkt als CO₂-äquivalente Tonnen eingetragen werden.

Dieser Vorschlag ist bedenkenswert.

Um die Aerosol-Daten für 134a und 152a in der metrischen Tonnage zu erhalten, mit der sie eingetragen sind, schlägt ÖR zur Überlegung vor, sich die Identität der GWP-Werte von 134a und 43-10, nämlich 1300, zunutze zu machen und 43-10 aus der Lösemittelverwendung in 134a "umzuwandeln". Unter dem Aspekt der Treibhausbelastung ist diese Lösung sicherlich die eleganteste.

F-Gas-Blatt 24 Produktion HFKW-134a

F-Gas	HFKW 134a
Anwendung	Produktion von HFKW 134a
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 6	Anlagenemissionen (Flüchtige Emissionen)

Hintergrund

Anfang 1995 wurde in Frankfurt am Main die durch einen Störfall ein Jahr lang unterbrochene Produktion des HFKW-134a wieder aufgenommen. Der damalige Betreiber war die Hoechst AG. Mitte 1996 wurde die einzige deutsche Produktionsanlage von der Solvay Fluor und Derivate GmbH übernommen.

1. Aktivitätsdaten. Produktion von HFKW-134a 1995 bis 2002

Die Produktion stieg 1998 sprunghaft an (auf das Dreifache des Vorjahrs) und nahm seitdem jährlich zu. Siehe Tab. 1.

2. Emissionen und Emissionsrate seit 1995

Die flüchtigen Verluste wuchsen gleichmäßig mit der Produktion. Die implizite Emissionsrate bewegt sich immer um 0,3% herum. Siehe Tab. 1.

Tab. 1: Produktion und Anlagenemissionen von HFKW-134a in Deutschland			
	Produktion in t	Emissionen in t	Impl. Emissionsrate
1995	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1996	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1997	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1998	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1999	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2000	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2001	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2002	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht

3. Ermittlung der Daten und Informationsquellen

Sowohl Produktions- als auch Emissionsdaten wurden vom Betreiber der Anlage mitgeteilt. Die Emissionsrate wurde von ÖR durch Bezug der Emissionen auf Produktion berechnet.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Hoechst AG, Fachgespräch mit ÖR im Frankfurter Stammwerk am 25.3.96.
Solvay Fluor und Derivate GmbH, Fachgespräch Hannover 23.04.96.

Solvay Fluor und Derivate GmbH, Vertrauliche Mitteilung an ÖR über "Produktion in Deutschland, produktionsbedingte Emissionen und Exportmengen für HFKW und SF₆ von Solvay Fluor und Derivate GmbH (in t)", 04.03.03; 16.10.03.

4. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle

Die Produktionsdaten (Aktivitätsdaten) seit 1996 sind sehr verlässlich, da sie auf unternehmensinternen Aufzeichnungen der Solvay Fluor und Derivate GmbH beruhen. Lediglich für das Hoechst-Jahr 1995 sind die Angaben Schätzwerte. Allerdings wurden die Schätzungen von den verantwortlichen Experten abgegeben.

Die Emissionen wurden über eine Massenbilanz gewonnen. Diese kann als Differenz zwischen der durch den Rohstoffeinsatz bedingten und der wirklich in Tanks abgefüllten und gewogenen Produktionsmenge bezeichnet werden. Der Zuverlässigkeitsgrad seit 1996 ist hoch. Der Wert für 1995 stammt nicht von Betreiberseite. Er wurde mithilfe des Emissionsfaktors nachträglich von ÖR eingesetzt. Dies erscheint legitim, da es sich um dieselbe Produktionsanlage handelt.

Eine direkte Kontrolle der vertraulich übermittelten Produktionsdaten war nicht möglich. Eine indirekte über eventuell ermittelte Absatzzahlen ist undurchführbar, zumal der größte Teil der Produktion exportiert wird.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode

Aktivitätsdaten und Emissionen. IPCC GPG sieht für die Behandlung der Produktion von HFKW keine Anleitung vor, abgesehen von einer kurzen Bemerkung in der Einleitung zu Kapitel 3.7 über einen "default emission factor of 0.5%". Dagegen wird für "3.5.3. Production of SF₆" ein "default emission factor of 0.2% of the total quantity of SF₆ produced" vorgeschlagen. Jedoch: "Are detailed data available on plant-specific estimates", dann sollen möglichst die Daten der entsprechenden Produktionsanlagen ermittelt werden. Nach diesem Verfahren werden die 134a-Produktionsemissionen abgeschätzt. Vollständigkeit ist garantiert, da nur eine inländische Produktionsanlage existiert.

6. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, in welche Produktion von 134a und dabei auftretende Emissionen (Production of Halocarbons, Fugitive Emissions) primär eingetragen werden, ist Table 2(II).C.E.

7. Vertraulichkeit

Zu beachten ist unbedingt die Vertraulichkeit der Daten, die ÖR nur unter der Bedingung erhielt, sie "streng vertraulich zu behandeln und nur an die direkt involvierten Mitarbeiter des Umweltbundesamtes im Rahmen von Abstimmungsfragen zur Datenaggregation weiterzuleiten".

F-Gas-Blatt 25 Produktion HFKW-227ea

F-Gas	HFKW-227ea
Anwendung	Produktion von HFKW-227ea
Berichtsjahre	1996 - 2002
Emissionstyp 6	Anlagenemissionen (Flüchtige Emissionen)

Hintergrund

Seit 1996 wird von Solvay Fluor und Derivate GmbH am Standort Frankfurt am Main auch der HFKW-227ea produziert. Genau genommen findet dort keine vollständige Synthese statt. Vielmehr wird ein Teil des im spanischen Tarragona produzierten HFKW einer abschließenden Destillation unterzogen, um pharmazeutische Reinheit zu erzielen (Dosieraerosole). Dabei entstehen noch einmal geringfügige Verluste.

1. Aktivitätsdaten. Destillation von HFKW-227ea

Lt. Tab. 1 wurde die Destillation 1999 gegenüber den Vorjahren fast verdreifacht worden wegen erhöhter Nachfrage der Pharmaindustrie. Seitdem verläuft sie relativ stabil auf dem neuen Niveau. Fast 100% der Produktion werden exportiert.

2. Emissionen und Emissionsrate seit 1995

Der Betreiber teilt die Emissionen mit. Aus diesen und der Produktion wurde in Tab. 1 eine implizite Rate der flüchtigen Emissionen errechnet, die relativ konstant ist und etwa so hoch wie die ER der Produktion von HFKW-134a.

Tab. 1: Produktion und Anlagenemissionen von HFKW-227ea in Deutschland			
	Produktion in t	Emissionen in t	Impl. Emissionsrate
1996	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1997	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1998	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1999	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2000	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2001	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2002	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht

3. Ermittlung der Daten und Informationsquellen

Produktions -und Emissionsdaten stammen vom Betreiber der Anlage.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover. Vertrauliche Mitteilung an ÖR über "Produktion in Deutschland, produktionsbedingte Emissionen und Exportmengen für HFKW und SF₆ von Solvay Fluor und Derivate GmbH (in t)", 04.03.03; 16.10.03.

4. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle

Die Produktionsdaten (Aktivitätsdaten) sind sehr verlässlich, da es sich um interne Aufzeichnungen der Solvay Fluor und Derivate GmbH handelt.

Die Emissionen wurden lt. Betreiberinformation über eine Massenbilanz gewonnen. Diese ist die Differenz zwischen dem aufgrund des Rohgaseinsatzes möglichen und der in Tanks wirklich abgefüllten und gewogenen Destillationsmenge.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode

Aktivitätsdaten und Emissionen. IPCC GPG sieht für die Behandlung der Produktion von HFKW keine Anleitung vor, abgesehen von einer kurzen Bemerkung in der Einleitung zu Kapitel 3.7 über einen "default emission factor of 0.5%". Dagegen wird für "3.5.3. Production of SF₆" ein "default emission factor of 0.2% of the total quantity of SF₆ produced" vorgeschlagen. Jedoch: "Are detailed data available on plant-specific estimates", dann sollen möglichst die Daten der entsprechenden Produktionsanlagen ermittelt werden.

Nach diesem Verfahren erfolgt die deutsche Abschätzung der HFKW-227ea-Produktionsemissionen. Auch ist Vollständigkeit garantiert, da nur eine inländische Produktionsanlage (Destillationsanlage) existiert.

6. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, worin die Daten zu Produktionsverlusten von HFKW-227ea (Production of Halocarbons, Fugitive Emissions) primär eingetragen werden, ist Table 2(II).C.E.

7. Vertraulichkeit

Zu beachten ist unbedingt die Vertraulichkeit der Daten, die ÖR nur unter der Bedingung erhielt, sie "streng vertraulich zu behandeln und nur an die direkt involvierten Mitarbeiter des Umweltbundesamtes im Rahmen von Abstimmungsfragen zur Datenaggregation weiterzuleiten".

F-Gas-Blatt 26 HFKW-23

F-Gas	HFKW-23
Anwendung	HFCKW-22 Produktion
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 7	Nebenprodukt-Emission (By-Product Emission)

Hintergrund

Bei der Synthese des HFCKW-22 fallen prozessbedingt je nach Steuerung bis zu 3% HFKW-23 als Nebenprodukt an. Der HFCKW-22 seinerseits dient entweder direkt als Kältemittel (mit abnehmender Tendenz) oder als Ausgangsmaterial für den Kunststoff PTFE (stabile Nachfrage). Nach der Abtrennung vom Reaktionsgemisch kann der HFKW-23 zu großen Teilen kontrolliert aufgefangen werden, um entweder direkt als Fertigprodukt vermarktet oder weiterverarbeitet zu werden.

Vor 1995 war für aufgefangenen HFKW-23 die Hauptform der Weiterverarbeitung die Bromierung zu Halon (1301) oder zum Tieftemperatur-Kältemittel R-13 B1. Seit deren Verbot hat die Bedeutung des direkten Absatzes als Kältemittel oder als Feuerlöschmittel zugenommen, neben kleinen Mengen, die destillativ zu Ätzgas für die Halbleiterproduktion weiterverarbeitet werden. Wegen Patentrechten kommt als Absatzkanal für in Deutschland entstehenden HFKW-23 praktisch nur der internationale Kältemittelmarkt infrage. Die Märkte für HFKW-23 sind allerdings begrenzt. Darum sind Produktionsanlagen für R-22 generell mit überschüssigem HFKW-23 ohne kommerzielle Verwendung konfrontiert, so dass dieser häufig mit dem nicht aufgefangenen Teil in die Atmosphäre entlassen wird.

In Deutschland gibt es zwei Produktionsanlagen für HFCKW-22, eine in Frankfurt und eine in Bad Wimpfen. Die Frankfurter Anlage, die den HFCKW-22 nur als Vorprodukt für PTFE produziert, ist seit Mitte 1995 direkt an die benachbarte Spaltanlage angeschlossen. Das Beiprodukt HFKW-23 wird seitdem direkt der Hochtemperaturspaltung mit Rückgewinnung von Flusssäure zugeführt, so dass Emissionen in nennenswertem Umfang nicht auftreten. An der zweiten Produktionsanlage entstehender und aufgefangener HFKW-23 wurde seit 1995 in die Atmosphäre entlassen, soweit er nicht als Kältemittel vermarktet werden konnte. Seit Ende 1999 wird der aufgefangene Überschuss ebenfalls an die Frankfurter Spaltanlage geliefert. Dadurch konnten die Emissionen maßgeblich gesenkt werden. Nach wie vor wird jedoch ein erheblicher Teil nicht aufgefangen, so dass noch Beiprodukt-Emissionen vorkommen, die in 2002 noch etwa 0,5 % der HFCKW-22-Produktion dieser Anlage betrugen und in 2003 deutlich weiter reduziert werden konnten. Die Möglichkeiten von direkt der Produktion nachgeschalteter Zerstörungstechnologie (Plasmabrenner) werden überprüft.

Kältemittelvermarktung und Beiprodukt-Emissionen von HFKW-23

1. Emissionsminderung seit 1995 in zwei Stufen

Die Inlandsproduktion des HFKW-22 beläuft sich seit Jahren durch Schwankungen hindurch auf etwa 30.000 t/a (Schätzung). Bei angenommen 3% für den Zwangsanfall von HFKW-23 beträgt das Emissionspotenzial etwa 900 t. Durch Auffangen zwecks Spaltung oder zwecks Verkaufs als Kältemittel werden die direkten Emissionen⁴ von den Produktionsanlagen deutlich gemindert.

In Tab. 1 ist Jahr für Jahr quantifiziert, welche Wege der zwangsläufig entstandene HFKW-23 genommen hat. Nur bei 1995 sind noch Kältemittel und Emissionen von der ersten Anlage eingetragen, die vor Inbetriebnahme der Spaltanlage im Jahresverlauf 1995 noch emittierten. (Im Vorjahr war es mehr als das Doppelte gewesen.) Ab 1996 enthält die Tabelle nur noch Daten der zweiten Anlage.

Tab. 1: Aufteilung von HFKW-23 nach Kältemittelverwendung und Nebenproduktemission in Deutschland in t		
	HFKW-23 als Kältemittel	HFKW-23 Emissionen
1995	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1996	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1997	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1998	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1999	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2000	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2001	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2002	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht

Quellen: Abschn. 2.

Kommentar

Zwischen 1995 und 2002 konnten die Emissionen (Tab. 1, rechts) reduziert werden. 100 t wurden schon 1996 rückgehalten, als die Spaltanlage den HFKW-23 aus der ersten Anlage aufnahm. Der nächste größere Schritt erfolgte Ende 1999, als die zweite Anlage ihren aufgefangenen überschüssigen HFKW-23 der Spaltanlage zuzuführen begann. Dass es immer noch Emissionen gibt, geht offenbar auf unvollständiges Auffangen des HFKW-23 zurück.

Im gleichen Zeitraum ist die Vermarktung des HFKW-23 als Kältemittel (ab 1996 nur zweite Anlage) auf fast das Vierfache gestiegen. Die Summe aus Kältemittel und Emissionen ist seit 1996 ebenfalls deutlich gewachsen. Ob dies auf vermehrte Produktion von HFKW-22 zurückgeht oder auf bewusst geänderte Reaktionssteuerung, ist nicht bekannt, da die Produktionszahlen des HFKW-22 nicht veröffentlicht werden.

⁴ Das Kältemittel HFKW-23 kann selbstverständlich bei seiner Anwendung auch emittieren. Hier sind nur die direkten Emissionen von der Produktionsanlage gemeint.

2. Ermittlung der Daten und Informationsquellen

Der Betreiber der zweiten Anlage ermittelte für die Berichtsjahre 1995 bis 2002 die Emissionen anhand einer jährlichen Messung der HFKW-23-Konzentration im Abgas, der Produktion von HFCKW-22, der Verkaufsmenge von HFKW-23 sowie der Menge HFKW-23, die der Spaltanlage zugeführt wurde (ab Ende 1999). Die Emissionen werden über eine Massenbilanz berechnet, d.h. als Differenz zwischen verkaufter und der Spaltanlage zugeführter Menge einerseits und dem durch die Messung der Konzentration bestimmbar jährlichen Ausstoß von HFKW-23 andererseits.

Für das Berichtsjahr 1995 der ersten Produktionsanlage sind die im Jahre 1996 beim damaligen Betreiber (Hoechst AG) eingeholten Informationen maßgeblich.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Hoechst AG, Fachgespräch mit ÖR im Frankfurter Stammwerk am 25.3.96.

Solvay Fluor und Derivate GmbH, Fachgespräch Hannover, 23.04.96.

Solvay Fluor und Derivate GmbH, Vertrauliche Mitteilung an ÖR über "Produktion in Deutschland, produktionsbedingte Emissionen und Exportmengen für HFKW und SF₆ von Solvay Fluor und Derivate GmbH (in t)", 04.03.03; 16.10.03.

3. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle

Die Berechnung der Emissionen erfolgt über eine Massenbilanz (Hersteller) und wird als sehr genau angenommen. Das betrifft die Abgas-Konzentrations-Messung, aber auch die Daten zur Kältemittelvermarktung und zu den zur Spaltanlage transportierten Mengen von HFKW-23. Unternehmensinterne Dokumentationen sind generell von ausreichend hoher Zuverlässigkeit.

4. Verhältnis zur IPCC-Methode

Nach "3.8 Estimation of HFC-23 Emissions from HCFC-22 Manufacture" in IPCC GPG ist die hier verwendete Methode eine Tier 2 method, da sie auf Messungen der Konzentration und des Massenstroms bei einzelnen Anlagen gründet. (Dies gilt nicht für die Emissionen der ersten Anlage im ersten halben Jahr 1995.)

Gemäß Decision Tree (figure 3.19) wird der Box 5 gefolgt: "Estimate emissions by aggregating plant-level measurements, and estimates for plants without measurements, adjusting for HFC-23 destruction."

Der default emission factor von 4% "tonnes of HFC-23 produced per tonne of HCFC-22 manufactured" (IPCC Guidelines) wird nicht benötigt, da die Emissionen länderspezifisch (CS) bestimmt werden. Ein Emissionsfaktor im Sinne eines Bezugs auf die Herstellung von HFCKW-22 wird allerdings nicht gebildet, da die exakten Produktionsmengen nicht bekannt sind. (Ohnehin ist es eine offene Frage, ob die Emissionen aus der einen Anlage auf die Produktion beider oder eben nur jener einen bezogen werden sollten). Die eine Methode würde nationale Anstrengungen widerspiegeln, die andere unternehmensspezifische.

5. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "By-product Emissions" von "HFC-23" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).C.E.

Zusätzlich wird in Reihe 16, Spalte C die nationale Produktion von HFCKW-22 (beide Anlagen) eingetragen, die allerdings ein eigener Schätzwert von ÖR ist.

Die als Kältemittel aufgefangene und vermarktete Menge wird in Table 2(II).C.E. Fugitive Emissions entstehen keine, da der "produzierte" HFKW selber ein Teil der (aufgefangenen) Emissionen ist.

6. Vertraulichkeit

Zu beachten ist unbedingt die Vertraulichkeit der Daten, die ÖR nur unter der Bedingung erhielt, sie "streng vertraulich zu behandeln und nur an die direkt involvierten Mitarbeiter des Umweltbundesamtes im Rahmen von Abstimmungsfragen zur Datenaggregation weiterzuleiten".

F-Gas-Blatt 27 Produktion von SF₆

F-Gas	Schwefelhexafluorid SF₆
Anwendung	Produktion von SF₆
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 6	Anlagenemissionen (Flüchtige Emissionen)

Hintergrund

Die einzige deutsche Anlage für Schwefelhexafluorid wird in Bad Wimpfen von der Solvay Fluor und Derivate GmbH betrieben. In der EU gibt es nur noch eine weitere Produktionsanlage, die bis 2002 von Ausimont betriebene Anlage in Italien. Diese gehört mittlerweile ebenfalls zu Solvay Fluor und Derivate.

1. Aktivitätsdaten. Produktion von SF₆ 1995 bis 2002

Trotz der inländischen SF₆-Nachfragerückgänge für offene und halboffene Anwendungen ist die Produktion seit 1995 kontinuierlich gestiegen (Tab. 1). Der Anstieg geht ausschließlich auf das Wachstum des Exports zurück. Der Inlandsabsatz wird hauptsächlich von geschlossenen Anwendungen wie Schaltanlagen getragen.

2. Emissionen und Emissionsrate seit 1995

Der Betreiber teilt die Emissionen mit. Aus diesen und der Produktion wurde in Tab. 1 eine implizite Rate der flüchtigen Emissionen errechnet.

Tab. 1: Produktion und Anlagenemissionen von SF ₆ in Deutschland			
	Produktion in t	Emissionen in t	Impl. Emissionsrate
1995	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1996	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1997	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1998	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1999	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2000	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2001	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2002	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht

3. Ermittlung der Daten und Informationsquellen

Produktions- und Emissionsdaten stammen vom Betreiber der Anlage.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Solvay Fluor und Derivate GmbH, Fachgespräch Hannover 23.04.96.

Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover. Vertrauliche Mitteilung an ÖR über "Produktion in Deutschland, produktionsbedingte Emissionen und Exportmengen für HFKW und SF₆ von Solvay Fluor und Derivate GmbH (in t)", 04.03.03; 16.10.03.

Solvay Fluor und Derivate GmbH (Hg.), Schwefelhexafluorid, 46-seitige Broschüre, Auflage Hannover 01.92; Neuauflage (50 Seiten) 12.99.

4. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle

Die Produktionsdaten (Aktivitätsdaten) sind sehr verlässlich, da es sich um interne Aufzeichnungen der Solvay Fluor und Derivate GmbH handelt.

Die Emissionen wurden über eine Massenbilanz gewonnen. Diese kann als Differenz zwischen der durch den Rohstoffeinsatz bedingten und der in Tanks wirklich abgefüllten Produktionsmenge bezeichnet werden.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode

Aktivitätsdaten und Emissionen: IPCC GPG schlägt unter "3.5.3. Production of SF₆" vor, anlagenspezifische Daten zu erheben, sofern sie vorhanden sind. Dem entspricht die Vorgehensweise von ÖR.

Es ist daher auch nicht erforderlich, für die Emissionen einen "default emission factor of 0.2%" anzusetzen. Dieser Wert ging im IPCC auf Schätzungen der Solvay Fluor und Derivate (Preisegger) von 1999 zurück. Mittlerweile (2003) wurden für das Umweltbundesamt neue Schätzungen durchgeführt und ÖR mitgeteilt, die den oben dargestellten Emissionsfaktor ergaben.

Vollständigkeit ist garantiert, da nur eine inländische Produktionsanlage existiert.

6. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, worin die Daten zu Produktionsverlusten von SF₆ (Production of Halocarbons, Fugitive Emissions) primär eingetragen werden, ist Table 2(II).C.E.

7. Vertraulichkeit

Zu beachten ist unbedingt die Vertraulichkeit der Daten, die ÖR nur unter der Bedingung erhielt, sie "streng vertraulich zu behandeln und nur an die direkt involvierten Mitarbeiter des Umweltbundesamtes im Rahmen von Abstimmungsfragen zur Datenaggregation weiterzuleiten".

F-Gas-Blatt 28 Betriebsmittel zur Übertragung und Verteilung von Elektrizität

F-Gas	SF₆
Anwendung	Betriebsmittel zur Elektrizitätsübertragung und -verteilung
Berichtsjahre	1995 – 2002
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand
Emissionstyp 5	Entsorgungsemissionen

Hintergrund

Elektrische Betriebsmittel für die Stromversorgung sind bei weitem der größte Einzelverbraucher von SF₆ in Deutschland. Aufgrund der hohen Exportquote von über 80% wird allerdings nur ein geringer Teil in neuen Geräten und Anlagen dem inländischen Bestand zugeführt.

SF₆-haltige Betriebsmittel zur Übertragung und Verteilung elektrischen Stroms sind Schaltanlagen und Schaltgeräte der Hochspannung (110-380 kV) und zunehmend auch der Mittelspannung (10-30 kV). Im Niederspannungsbereich (< 1 kV) ist die Verwendung von SF₆ nicht üblich.

Schaltanlagen, Schaltgeräte und die ihnen meist zugeordneten oder eingebauten Messwandler sowie Durchführungen befinden sich an Knotenpunkten der Stromversorgungsnetze, wo Energie von übergeordneten Übertragungsleitungen auf abgehende Leitungen verteilt wird. Neben dem Ein- und Ausschalten von Betriebsströmen in Teilnetzen soll die Schaltanlage befähigt sein, hohe Kurzschlussströme, die aus Störungen im Stromkreis resultieren, in Millisekunden abzuschalten und den an den Schaltkontakten entstehenden stromstarken Lichtbogen zu löschen.

Die wichtigsten SF₆-haltigen Endprodukte in der Hochspannung sind metallgekapselte Gas-Isolierte Schaltanlagen (GIS), Freiluft-Leistungsschalter und Freiluft-Messwandler. Sie werden seit etwa 1970 eingesetzt. Auch in der Mittelspannung werden seit 1980 zunehmend SF₆-haltige Schaltanlagen eingesetzt. Diese sind auf lebenslange Wartungsfreiheit konzipiert.

I. Inländischer SF₆-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

1. SF₆-Verbrauch bei der Herstellung seit 1995

Der Verbrauch (C_{manu}) wird seit 1997 vom Herstellerverband ZVEI ermittelt und in drei Kategorien berichtet:

1. Hochspannung: Gas-Isolierte Stationen (HS-GIS).
2. Hochspannung: Leistungsschalter (Freiluftausführung).
3. Mittelspannung: Schaltanlagen (MS-Schaltanlagen).

Ab 2004 sollen im Zuge einer neuen Selbstverpflichtung auch die Verbrauchswerte für Bauelemente berichtet werden, die entweder in Schaltanlagen eingebaut werden (Wandler, Durchführungen) oder direkt zu Betreibern gelangen (HS-Freiluftwandler). Diese sind in Tab. 1 noch nicht enthalten, die die inländischen Verbräuche nach bisher gemeldeten Produktgruppen für 1995-2002 bzw. 1997-2002 wiedergibt.

Tab. 1: SF ₆ -Verbrauch zur inl. Herstellung von Schaltanlagen- und -geräten in kg/a				
	HS-GIS	HS-Leistungsschalter	MS-Schaltanlagen	Gesamt
1995				328.520*
1996				345.000**
1997	172.455	65.845	110.131	348.431
1998	169.000	67.810	108.268	345.078
1999	265.668	65.465	95.099	417.232
2000	255.917	58.705	89.950	404.572
2001	155.215	89.730	110.876	355.821
2002	194.874	95.803	121.391	412.068

Quelle: ZVEI ab 1997. * Der Wert für 1995 wurde in 2004 vom ZVEI rückwirkend geschätzt.

**Der Wert für 1996 ist eine ÖR-Schätzung von 1999.

Kommentar

Der inländische Verbrauch ist zwar 1998, 2000 und 2001 jeweils gegenüber dem Vorjahr gesunken. Er weist aber seit 1995 einen klaren Aufwärtstrend auf – von 328 auf 412 t/a. Alle drei Sektoren partizipieren an dem durch konjunkturelle Rückgänge unterbrochenen generellen Aufwärtstrend.

Ergänzung durch ÖR und ZVEI für Bauelemente 1995 bis 2002

Die Selbstverpflichtung von VDEW und ZVEI von 1997 bezog sich nur auf Schaltanlagen und –geräte, nicht jedoch auf Bauelemente. Auf Basis von in 1996 und 1999 durchgeführten Eigenrecherchen schätzte ÖR den SF₆-Verbrauch durch die Hersteller dieser Bauelemente. In das CRF wurden daher für den Gesamtverbrauch nicht die in Tabelle 1 (rechts) angeführten Werte eingetragen, sondern von 1995 bis 2001 die Daten jährlich um die Schätzwerte ergänzt.

Mittlerweile (2004) liegen vom ZVEI Werte für 1995-2002 vor: 51 t (95), 51 t (96), 51 t (97), 50 t (98), 50 t (99), 45 t (2000), 55 t (2001), 54 t (2002).

2. SF₆-Emissionen bei der Herstellung seit 1995

Fertigungsemissionen (Em_{manu}) der Hersteller werden nach Anfall im Werk bzw. am Aufstellungsort des inländischen Betreibers getrennt erfasst (Stand 2003):

1. Werksverluste im Inland, die vor allem in der Entwicklung und bei der Befüllung zur Stückprüfung anfallen (ca. 95% der Herstellungsemissionen), untergliedert nach HS-GIS, HS-Leistungsschaltern, MS-Schaltanlagen und HS-MS-Bauelementen.
2. Montageverluste im Inland (ca. 5%) bei HS-GIS, HS-Leistungsschaltern, MS-Schaltanlagen und bei HS-Freiluftwandlern. Bei der Montage von Bauelementen, die Teile von HS-GIS sind (Durchführungen, Spannungswandler), entstehen zwar Verluste, die aber bei HS-GIS mitgerechnet worden sind. (Das berührt nicht die zuvor genannten eigenständigen Werksverluste bei der Herstellung von Bauelementen).

Berichtet wurden bis 2002 die inländischen Werks- und Montageverluste, welche wiederum nur nach HS-GIS, HS-Leistungsschaltern und MS-Schaltanlagen unterteilt wurden, mithin Produkten, die direkt zu einem in- oder ausländischen Betreiber gelangen. Nicht berichtet wurden werkseitige Emissionen aus der Herstellung von Bauelementen, die von Schaltanlagenbauern zugekauft werden (Wandler und Durchführungen für HS-GIS, MS-Wandler), ebenso wenig wie werkseitige Herstellungsemissionen von Freiluft-Wandlern. Werks-Emissionen bei Bauelementen sind in Tab. 2 folglich nicht enthalten.

Tab. 2 führt die Emissionen aus der Herstellung von Schaltanlagen- und -geräten an, die im Werk (Entwicklung, Stückprüfung) und bei der Aufstellung vor Ort im Inland entstehen und aufgrund der Selbstverpflichtung von 1997 gemeldet wurden.

Tab. 2: Emissionen aus der Herstellung von Schaltanlagen- und -geräten im Werk und bei der Aufstellung vor Ort im Inland, in kg/a							
	HS-GIS		HS-Leistungsschalter		MS-Schaltanlagen		Gesamt
	Werk	vor Ort	Werk	vor Ort	Werk	vor Ort*	
1995							20.048**
1996							18.570***
1997	6.543	1.120	4.300	170	2.622	503	15.258
1998	9.329	603	4.310	190	1.553	570	16.555
1999	3.834	134	5.120	120	1.520	66	10.794
2000	4.798	50	3.014	84	1.464	65	9.475
2001	3.554	3	1.938	54	1.671	88	7.308
2002	3.947	20	2.011	33	1.901	90	8.002

Quelle: ZVEI ab 1997. * Bei der Erstaufstellung von MS-Anlagen entstehen keine Verluste. Hier sind Emissionen im Zuge von Umbauten bestehender Anlagen (i.d.R. Erweiterungen) angeführt. ** Der Wert für 1995 wurde in 2004 vom ZVEI rückwirkend geschätzt. *** Der Wert für 1996 ist eine ÖR-Schätzung von 1999.

Kommentar

Die Herstellungsemissionen (Em_{manu}) für Schaltanlagen und -geräte sind seit 1995 deutlich zurückgegangen: von 20,0 auf 8,0 t/a (rechte Spalte). Der implizite Emissionsfaktor (Em_{manu} bezogen auf C_{manu}) ist von 6,1% in 1995 auf 1,9% in 2002 gesunken. Hauptgrund dafür sind die deutlich verminderten Werksverluste bei HS-GIS, die allein zwischen 1998 und 2002 von 9,3 t auf 3,9 t sanken, was sich mit

sorgfältigerem betrieblichen Umgang mit SF₆ erklären lässt. Die inländischen Montageverluste ("vor Ort") sind bei allen Produkten kräftig gesunken, dabei wieder am stärksten bei HS-GIS (von 1120 kg auf nur noch 20 kg).

Ergänzung durch ÖR und ZVEI für Bauelemente 1995 bis 2002

Vor 2003 hat der ZVEI keine Schätzung der Emissionen aus der Herstellung von Bauelementen abgegeben. Von ÖR wurde für 1995 bis 2001 hilfsweise ein konstanter Emissionsfaktor auf den geschätzten Jahresverbrauch (siehe Abschnitt 1) angewandt. Daher wurden in CRF pro Jahr zusätzliche SF₆-Emissionen von 2,6 t eingetragen.

Seit 2004 liegen dem ZVEI die Ergebnisse einer internen Erfassung der Verbrauchs- und Emissionswerte bei Bauelementen vor. Es zeigt sich, dass die Werksverluste stark unterschätzt worden waren, da in zwei Werken quasi-offene Verfahren zur Imprägnierung bzw. zur Ausschäumung mit SF₆ angewendet werden. Die geschätzten Herstellungsemissionen sind folgende: 16 t (95), 16 t (96), 16 t (97), 14 t (98), 14 t (99), 13,2 t (2000), 14,5 t (2001), 14,4 t (2002).

3. Ermittlung und Informationsquellen für Aktivitätsdaten und Emissionen I

Im Rahmen einer Selbstverpflichtung aus dem Jahre 1997 meldet der Hersteller-Verband ZVEI (Fachbereich Schaltgeräte, Schaltanlagen, Industriesteuerungen) jährlich für das Vorjahr die von seinen Mitgliedsfirmen abgefragten Daten, und zwar zum inländischen SF₆-Verbrauch bei der Herstellung sowie zu den dabei anfallenden Emissionen. Nicht-Mitglieder werden über Hochrechnungen einbezogen.

Ab 2004 sollen im Zuge einer neuen Selbstverpflichtung auch die Hersteller von Bauelementen (Wandler, Durchführungen) in das Monitoringsystem einbezogen werden, ob sie zum Verband gehören oder nicht.

Informationsquellen

Die Daten werden seit 1998 vom ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V.) erhoben, ausgewertet und dem Umweltbundesamt übergeben. Verantwortlich für die Datenermittlung ist im ZVEI Johannes Stein, Referent des Fachbereichs Schaltgeräte, Schaltanlagen, Industriesteuerungen, Stresemannallee 19, 60596 Frankfurt am Main.

4. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle I

Da es nur etwa zehn verschiedene Hersteller der Betriebsmittel (einschließlich solcher Bauelemente wie Durchführungen und Messwandler) gibt, sind die Verbrauchsdaten sehr sicher, zumal es sich im Prinzip um Einkaufsmengen handelt, über die intern Buch ohnehin geführt wird. Bei den Emissionen ist die Erfassung schwieriger, da in den Betrieben mehrere Emissionsquellen vorhanden sind, die für sich genommen mitunter recht klein sind. Gasverluste entstehen beim Befüllen von Geräten zum Test, beim Entleeren nach dem Test, beim Öffnen von Ausschuss, in der Entwicklungsabteilung u.s.w. Allerdings gehen mittlerweile alle inländischen Werke nach einem einheitlichen Fragebogen vor, der sämtliche möglichen Emissionsquellen nennt. Daher hängt die Exaktheit der Erhebung letztlich von der Messgenauigkeit ab. Diese bewegt sich ihrerseits im Bereich von ±10%.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Das gegenwärtige Monitoringsystem beruht in Begriffen des IPCC Good Practice Guidance Dokuments (GPG) im wesentlichen auf Massen-Bilanzierung auf der höchsten Anforderungsstufe Tier 3 (3.b); es enthält aber auch Elemente nach Tier 2a (emission factor approach) und kann daher als modifiziertes Tier 3b-System bezeichnet werden. Für Handlingsemissionen (Befüllung, Absaugung) im Bereich von 0,5 bis 1,5%, die für die Branche typisch sind, hat sich die Massenbilanzierung als unpraktikabel erwiesen. Kleine Gasverluste können nicht aus der Gegenrechnung von Input- und Output-Posten ermittelt werden, weil schon bei deren einfacher Messung die Fehlertoleranzen (Waage, Durchflussmesser, Gasflaschen, Gasräume usw.) größer als die zu bestimmenden Emissionen sind. Daher wird gegenwärtig das Monitoringsystem überarbeitet, um durch das geeignete Zusammenspiel von Massenbilanzierung und festen Emissionsfaktoren ein möglichst hohes Maß an Genauigkeit zu erzielen.

Es besteht die Absicht, beim IPCC das überarbeitete System als allgemein anwendbar vorzustellen.

6. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emissions from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs2. Die Einträge erfolgen in der Zeile 32 in den Spalten B und H.

Im Jahr 2004 soll für alle bisher berichteten Jahre eine Rekalkulation durchgeführt werden. Die Unterscheidung in Hoch- und Mittelspannung ist im CRF nicht gefordert.

II. SF₆-Zugang zum Bestand und Bestands-Emissionen

Der SF₆-Endbestand in der Gesamtheit der elektrischen Betriebsmittel eines bestimmten Jahres n (EB n) verändert sich jährlich um den Saldo aus Zugang (In_{bank} n) und Abgang (De_{bank} n). Vereinzelte Abgänge (Hochspannung) werden seit 1997 registriert; systematisches Ausscheiden ganzer Jahrgänge ist bei einer auf 40 Jahre geschätzten Lebensdauer erst ab 2010 zu erwarten.

Laufende Bestandsemissionen (Em_{op}) beziehen sich auf den seit 1970 durch jährliche Zugänge in Schaltanlagen angehäuften SF₆-Bestand, der im Mittel des Jahres n besteht. Dieser mittlere Jahres-Bestand (B n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres ($n-1$) und des aktuellen Jahres (n). Als Formel:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2} \quad \text{wobei} \quad EB_n = EB_{n-1} + In_{bank\ n} - De_{bank\ n}$
--

Drei Besonderheiten sind bei der Berichterstattung zu Schaltanlagen zu beachten.

Erstens: Die allgemeine Bedingung der Bestandsermittlung, nämlich für den Endbestand jeden Jahres n stets den Endbestand des Vorjahres $n-1$ ermitteln zu müssen, und zwar durch Rückrechnung bis zum aller ersten Einsatzjahr, entfällt bei Schaltanlagen, weil die Betreiber/Hersteller den SF₆-Bestand für 1995 abgeschätzt haben, und zwar getrennt für Hoch- und Mittelspannung (770 t bzw. 157,6 t).

Zweitens: Bestands- und Emissionsermittlung erfolgen in der Hochspannung nicht über die oben angeführte Gleichung, sondern durch regelmäßige Direkterhebungen bei den ca. 100 Unternehmen im Verband der Netzbetreiber (VDN). Diese werden unmittelbar nach ihrem aktuellen Bestand an SF₆ in Betriebsmitteln (GIS, Leistungsschalter, Freiluftwandler) befragt sowie nach den jährlichen (betriebsmittelbezogenen) Nachfüllungen zum Emissionsausgleich. (Industrielle Netzbetreiber sind allerdings nicht einbezogen. Ihr Anteil wird auf etwa 5% zusätzlich geschätzt).

Drittens: Mittelspannungs-Schaltanlagen haben sehr zahlreiche und zugleich sehr heterogene Betreiber. Direktbefragungen scheiden daher aus. Die Hersteller der Mittelspannungsanlagen haben es selbst übernommen, auf Basis ihrer Verkaufsdaten den inländischen Bestand fortzuschreiben. Die Emissionsermittlung ist dadurch möglich, dass die Anlagen praktisch wartungsfrei sind und nur minimale Emissionen (meist nur infolge äußerer Einwirkungen) aufweisen, die durch einen pauschalen Emissionsfaktor abgedeckt werden können.

7. SF₆-Bestand und Emissionen in der Hochspannung

Bestand und Emissionen werden in der Hochspannung (VDN-Mitglieder) gleichzeitig erhoben. Daher liegt es nahe, beide Größen als Zeitreihen in einer Tabelle zu präsentieren. In Tabelle 3 werden Bestand und Emissionen, die für HS-Leistungsschalter, HS-GIS und HS-Wandler getrennt ermittelt werden, der Einfachheit halber zusammengefasst. Außerdem wird der implizite Emissionsfaktor wiedergegeben, der sich aus dem Bezug der Emissionen auf den Bestand ergibt.

Im Unterschied zur Herstellung (Teil I) sind beim Bestand alle Betriebsmittel einschl. Bauelementen mit enthalten, allerdings nicht diejenigen der industriellen Betreiber.

Tab. 3: Bestand, Emissionen und implizite Emissionsfaktoren bei Betriebsmitteln der Hochspannung (VDN-Betriebe) 1995 bis 2002			
	HS-Bestand in t	Emissionen in t	Impl. Emissionsfaktor
1995	769,881	6,733	0,87%
1996	788,440	6,938	0,88%
1997	807,000	7,101	0,88%
1998	851,776	7,428	0,87%
1999	881,384	7,830	0,89%
2000	855,307	6,980	0,82%
2001	880,528	7,219	0,82%
2002	905,337	7,424	0,82%

Quelle: VDN 2004 für 1995, 1997-2002. Die Werte für 1996 sind durch ÖR interpoliert.

Kommentar zur Zeitreihe

Beim Bestand - und damit auch bei den Emissionen - die sich beide seit 1995 grundsätzlich erhöhen, gibt es im Jahr 2000 eine ungewöhnliche Entwicklung, nämlich einen Rückgang gegenüber dem Vorjahr um über 25 t beim Bestand (und 0,85 t bei den Emissionen). Dieser Rückgang, der auf HS-GIS (600 zu 567 t) zurückgeht, ist nicht durch Abgänge durch Außerbetriebnahme zu erklären, da diese noch keine nennenswerte Rolle spielen. Dem Verband der Netzbetreiber (VDN) zufolge, der die Erhebungen durchführt, steckt dahinter sowohl ein statistisches als auch organisatorisches Problem. Ende der 90er Jahre fanden im Zuge der Liberalisierung des Strommarktes bei den Betreibern tiefgehende Umgruppierungen (durch Fusionen und Eigentumswechsel von Unternehmensteilen) statt, so dass die personellen Zuständigkeiten für den Betriebsmittelbestand immer wieder wechselten. So sind Doppelzählungen im Jahr 1999 nicht auszuschließen, ebenso wie nicht erfasste Betriebsmittel im Jahr 2000.

8. SF₆-Bestand und Emissionen in der Mittelspannung

Der SF₆-Bestand in MS-Schaltanlagen wird aufgrund der Herstellerverkäufe in den Inlandsmarkt ermittelt. Da bisher systematische Außerbetriebnahmen installierter Anlagen nicht vorkommen, sondern nur vereinzelte, durch äußere Einwirkungen beschädigte Anlagen ersetzt werden, ergibt sich der laufende Bestand aus dem jährlichen Zugang ($\ln_{\text{bank}}$) zum mittleren Vorjahresbestand (B_{n-1}). Dieser wurde für 1995 auf 157,6 t geschätzt. Tab. 4 zeigt die Entwicklung bei Bestand und Emission.

Tab. 4: SF ₆ -Vorjahres-Bestand, Zugang, Jahres-Bestand, Emissionsfaktor und Emissionen bei Betriebsmitteln der Mittelspannung 1995 bis 2002					
	B _{n-1} (t)	$\ln_{\text{bank } n}$ (t)	B _n (t)	EF _{op}	Em _{op} (kg)
1995			157,600	0,15 %	236
1996	157,600	24,354	181,954	0,14 %	255
1997	181,954	42,046	224,000	0,13 %	291
1998	224,000	46,754	266,046	0,10 %	266
1999	266,046	37,205	312,800	0,10 %	313
2000	312,800	35,641	350,005	0,10 %	350
2001	350,005	45,626	385,646	0,10 %	386
2002	385,646	51,077	431,272	0,10 %	431

Quelle: ZVEI 2004.

Kommentar zur Zeitreihe

Gegenüber der Hochspannung, die nur noch langsam wächst, weist die Mittelspannung ein dynamisches Wachstum auf. Der Bestand (Spalte B n (t)) ist von 1995 bis 2002 von 157,6 auf 431,2 t gestiegen, d.h. um 173%. Die Emissionsrate (EF_{op}) wird seit 1998 mit konstanten 0,1% angesetzt, da seit Mitte der 90er Jahre praktisch nur noch Anlagen zum inländischen Bestand gelangen, die nicht nur als "closed for life", sondern als "sealed for life" gelten. Ältere Anlagen mit Emissionsraten höher als 0,1% verlieren dadurch an Gewicht. Die Emissionen (Em_{op}) sind daher nur um 82% gestiegen, auf einem niedrigen Basisniveau. Die geringen Gasverluste hängen auch damit zusammen, dass MS-Anlagen im Unterschied zu HS-Systemen, die unter Druck von 5 bis 6 bar stehen, nur einen leichten positiven Überdruck (1,3-1,5 bar abs.) aufweisen.

9. Vorläufige Datenergänzungen durch ÖR in der Hochspannung

In der Hochspannung (Tab. 3) sind die Daten der Betriebsmittel eingetragen, die von den Mitgliedsunternehmen des VDN gehalten werden. Darüber hinaus gibt es jedoch HS-Betriebsmittel bei energieintensiven Industriebetrieben, deren Daten in den VDN-Zahlen nicht enthalten sind. Die industriellen Betreiber, die im VIK (Verband industrielle Kraftwirtschaft) zusammengeschlossen sind, wollen erst nach der neuen Selbstverpflichtung, d.h. frühestens 2005, Erhebungen des aktuellen und des vergangenen Bestandes (sowie der Nachfüllungen) durchführen.

Solange dies nicht der Fall ist, werden die Industrieunternehmen mit einem pauschalen Anteil von zusätzlich 5% an Bestand und Emissionen (nur in der Hochspannung) berücksichtigt. Für die internationale Berichterstattung (CRF) sowie für nationale Schätzungen wurden von ÖR die Werte der Tab. 3 nicht direkt benutzt, sondern jeweils um 5% vermehrt.

10. Ermittlung und Informationsquellen von Aktivitätsdaten und Emissionen II

Bei MS-Schaltanlagen wird der SF₆-Bestand durch laufende Fortschreibung über die Verkäufe der Hersteller in den Inlandsmarkt jährlich ermittelt. Für die Emissionen wird ein konstanter Faktor von 0,1%/a (seit 1998) angenommen, der sämtliche Gasverluste während der Gebrauchsphase, insbesondere infolge mechanischer Zerstörungen und durch Blitzeinschläge, umfasst. Federführend für die Datenermittlung ist der ZVEI (siehe Abschnitt 3).

Für Bestands- und Emissionsdaten der Betriebsmittel der Hochspannung ist der Verband der Netzbetreiber (VDN) zuständig (früher VDEW). Dieser hat bisher drei große Erhebungen durchgeführt, und zwar für das Jahr 1995 (VDEW), für die Jahre 1998/1999 und zuletzt für die Jahre 2000/2001. Das Jahr 1997 wurde nachträglich geschätzt, die Daten zu 2002 sind eine Hochrechnung aufgrund der Erhebung für die zwei Jahre 2000/2001.

Die Erhebungen für die Jahre 2000 und 2001 waren Totalerhebungen. Es wurden alle ca. 100 Unternehmen angeschrieben, die Netze von 110 kV und darüber betreiben. Der Rücklauf betrug lt. VDN 100%.

Die Erhebung für 1998/1999 konzentrierte sich noch nicht ausschließlich auf die Hochspannung. Es wurden die 130 "wichtigsten" Unternehmen angeschrieben, von

denen 75 außer MS- auch HS-Anlagen betrieben. Der Rücklauf betrug lt. VDN über 90%. Deren Meldedaten wurden hochgerechnet.

Die Erhebung für 1995 war eine Umfrage bei 95 Energieversorgungsunternehmen, die damals zwischen 75 (MS) und fast 100% (HS) der Netze betrieben. Antworten aus 67 Unternehmen wurden ausgewertet und auf die Gesamtheit hochgerechnet.

Informationsquellen

Die Erhebungen in der Hochspannung werden durch den VDN durchgeführt.

11. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle II

Aktivitätsdaten. In der Mittelspannung sind die Daten als sehr sicher einzuschätzen, zumal sie auf Verkaufsdaten beruhen. Jedes Unternehmen führt Listen über die jährlich im Inland abgesetzte Stückzahl von Schaltanlagen mit ihren jeweiligen SF₆-Normfüllmengen. In der Hochspannung gibt es, abgesehen vom bereits erwähnten Anteil industrieller Betreiber, der bisher nur pauschal geschätzt wird, weitere Fehlerquellen, die mit der Ermittlung über Direktbefragung verbunden sind. Es wurde im Zeitreihenkommentar zur Hochspannung (Abschnitt 7) bereits auf die häufig wechselnden personellen Zuständigkeiten auf Betreiberseite hingewiesen. Außerdem gab es unter den bisher acht Berichtsjahren nur zwei, für die eine Totalerhebung durchgeführt wurde. Die anderen wurden vorwiegend über Hochrechnungen aus Teilerhebungen erfasst, denen statistische Unzulänglichkeiten immanent sind. Da jedoch stets die führenden Experten der großen Unternehmen bzw. ihres Verbandes mit den Erhebungen betraut waren, halten sich die Fehler durch die von den Experten ausgeübten Plausibilitätskontrollen in Grenzen. Die Bestandsdaten dürften um weniger als $\pm 10\%$ von ihrem wirklichen Wert abweichen.

Emissionsraten. Die Emissionsrate 0,1% in der Mittelspannung ist für den Bestand der letzten Jahre als akzeptabel zu bewerten. Da der VDN in seinen Erhebungen bisher auch immer nach den Nachfüllungen bei Mittelspannungsanlagen fragte, sind Gegenproben möglich: Aus den VDN-Unterlagen ergaben sich für MS-Schaltanlagen (Lasttrennschaltanlagen) SF₆-Verluste von nur 0,06% in den Jahren 1998/1999. Die Emissionen in der Hochspannung werden über die jährlichen Nachfüllungen ermittelt, die von eigenem Personal oder vom Herstellerservice durchgeführt wurden. (Nachfüllungen erfolgen bei Unterschreitung von 90% des Soll-Füllstandes, was in der Regel vom Gerät selbst angezeigt wird). Diese Methode ist als sehr sicher zu bewerten, d.h., die Abweichungen vom wahren Wert betragen etwa $\pm 10\%$. Alle bisherigen Erhebungen führten zu nahe beieinander liegenden Größenordnungen für die Emissionen, die zwischen 0,88 und 0,82% betrugen.

12. Verhältnis zur IPCC-Methode II

Die Ermittlung der Emissionen in der Hochspannung durch die Betreiber selber entspricht der Tier 3a/3b Methode, die eine Massenbilanzierung auf "utility-level" vorsieht. Nichts anderes ist die Ermittlung der Emissionen über nachgefüllte Mengen, wie sie der VDN praktiziert. Der ab 2004 eingesetzte neue Fragebogen wird in dieser Hinsicht noch genauer sein.

Die Ermittlung des Bestands und der Emissionen in der Mittelspannung durch die Daten der Hersteller entspricht der Tier 2a Methode: "Equipment use emissions are estimated

by multiplying the total nameplate capacity of installed equipment by a 'Use Emission Factor'".

Der in Deutschland praktizierte Ansatz geht über IPCC GPG insofern hinaus, als er nach den beiden Spannungsebenen unterscheidet und zusätzlich noch nach Gerätegruppen.

13. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Amount of fluid in operating systems" und "Emissions from stocks" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs2. Die Einträge erfolgen in der Zeile 32 in den Spalten C und I.

Die Unterscheidung in Hoch- und Mittelspannung ist im CRF nicht gefordert.

III. SF₆-Entsorgung und Entsorgungsemissionen

14. Zur Qualität der Daten zur Entsorgung

Trotz der langen Lebensdauer von Schaltanlagen kommen in der Hochspannung bereits hin und wieder Fälle der Außerbetriebnahme vor, bei denen gebrauchtes SF₆ entnommen wird. Wegen interner SF₆-Wiederaufarbeitung ist mit einem Anlagenrückbau nicht immer eine entsprechende Abgabe gebrauchten Gases zur Entsorgung verbunden. Vielmehr dient SF₆ aus Altanlagen häufig zum Emissionsausgleich bei anderen aktiven Betriebsmitteln. Da dann weder der Emissionsfall noch die Entsorgung zu SF₆-Zugängen oder -Abgängen führen, bleiben beide oft unentdeckt, was auf die Notwendigkeit verweist, die betrieblichen Vorgänge präzise zu erfassen.

Bis 2004 wurde in der Betreiber-Erhebung gar nicht nach der Entsorgung gefragt. Dies wird erst in der Überarbeitung anders. Aus HS-Altanlagen zur Entsorgung anstehende SF₆-Mengen wurden bislang nur grob geschätzt (auf konstante 3 t/a).

Auch der Hersteller-Fragebogen war zur Entsorgung bisher ungenau. Als Entsorgung wurde alles gemeldet, was im speziellen (orangefarben gekennzeichneten) Entsorgungs-Container zum Gaseproduzenten zurückgeliefert wurde ("ReUse"). Wie eine Überprüfung Anfang 2004 ergab, enthält der Container weit mehr SF₆, das im Herstellerwerk unbrauchbar wurde, als solches aus Altanlagen der Kunden. Der Produktionsabfall aus dem Werk gehört begrifflich nicht zur Entsorgung, und die mit ihm verbundenen Emissionen sind als Werksverluste bereits bei diesen erfasst.

Erst ab 2004 werden Entsorgungsmengen aus dem Anlagenrückbau klarer bestimmt. Das bisherige Monitoring hat die Entsorgungsmenge einerseits überschätzt (durch Einbeziehung herstellungsbedingter Abfälle), andererseits unterschätzt (bei interner Weiterverwendung von aus Altanlagen entnommenem Gas). Es ist nachträglich nicht mehr möglich, die bisher gemeldeten Angaben zur Entsorgung zu korrigieren. Davon ausgehend, dass sich Über- und Unterschätzung gegenseitig in gewissem Maße ausgleichen, werden die bisherigen Daten unverändert wiedergegeben.

15. Entsorgung und dabei entstehende Emissionen

Tab. 5 zeigt diese unkorrigierten Daten, wie sie vom ZVEI bisher gemeldet wurden. Sie werden wegen der hohen Datenunsicherheit bewusst nicht nach Spannungsebenen und Gerätegruppen untergliedert.

Die Tabelle enthält zugleich die bei der Entsorgung anfallenden Emissionen (Em_{disp}), die mit Hilfe eines pauschalen Emissionsfaktors (EF_{disp}) von 2% abgeschätzt wurden.

Zu beachten ist, dass erstmals für 1997 Daten abgeschätzt wurden. Generell bestehen die Entsorgungsmengen aus pauschalen 3000 kg/a für die direkte Entsorgung durch Betreiber, während der Rest sowohl die durch Hersteller bei Betreibern vorgenommene Entsorgung als auch im Werk selbst unbrauchbar gewordene Gasmengen umfasst.

Tab. 5: Entsorgung von SF ₆ und dabei entstehende Emissionen aus elektrischen Betriebsmitteln 1995 bis 2002			
	Entsorgung in kg	Emissionsfaktor (EF _{disp})	Emissionen (Em _{disp}) in kg
1995	n. e.		n. e.
1996	n. e.		n. e.
1997	8.288	2 %	166
1998	6.643	2 %	133
1999	4.072	2 %	81
2000	5.363	2 %	107
2001	4.272	2 %	85
2002	3.538	2 %	71

Quelle: VDN ZVEI 2003. Für 1995 und 1996 wurden keine Schätzungen abgegeben.

Aus Tabelle 5 geht hervor, dass die Entsorgungsmengen bisher relativ niedrig sind. Der in der ersten Spalte zu erkennende Rückgang ist sicher nicht Ausdruck der Realität, sondern hat mit der geringen Datenqualität zu tun.

16. Ermittlung und Informationsquellen von Aktivitätsdaten und Emissionen III

Die Entsorgungsmengen und Emissionen lt. Tab. 5 wurden ÖR vom ZVEI mitgeteilt. Der Emissionsfaktor von 2% Handlingsverlusten (bezogen auf die Normfüllung) pro Entsorgungsvorgang wird sowohl von Herstellern als auch Betreibern akzeptiert.

17. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle III

Die Qualität der Aktivitätsdaten und damit auch der Emissionsdaten ist gering. Es wurde bereits im Eingangsabschnitt 14 auf die bisherigen Mängel der Erhebung verwiesen. Der Emissionsfaktor von 2% auf die Normfüllung ist ein allgemein akzeptierter Wert für Handlingsverluste, die bei der Gasabsaugung aus der Altanlage beim Betreiber und auf dem Weg bis zur Einspeisung in den "ReUse"-Prozess beim SF₆-Hersteller anfallen. Plausibilitätskontrolle: Wird ein Gasraum mit 5 bar Druck auf 50 mbar Innendruck abgesaugt und dann geöffnet, entstehen bereits vor Ort Restgasemissionen von 1% (50 mbar/5000 mbar). Die Anlage selber kann als fast voll angenommen werden, weil sie bei 90% ihrer Normfüllung Nachfüllalarm auslöst.

18. Verhältnis zur IPCC-Methode III

Das Verfahren der Emissionsschätzung folgt der Tier 2a Methode in IPCC GPG: "Equipment disposal emissions are estimated by multiplying the nameplate capacity of retiring equipment by the assumed fraction of SF₆ left in equipment at the end of its life. If SF₆ is being recovered, good practice is to adjust the resulting estimate to reflect recovery, by multiplying by (1 – recovery factor). The default factor is zero."

Das gemeinsame Monitoringsystem von Herstellern und Betreibern benutzt einen country-specific recovery factor in Höhe von 98%. Dies ist möglich, da es in Deutschland mit dem sog. ReUse-Konzept eine geeignete Infrastruktur zur stofflichen Wiederaufarbeitung von verbrauchtem SF₆ gibt.

19. Eintrag in CRF III

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Amount of fluid remained in products at decomissioning" und "Emissions from disposal" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs2. Die Einträge erfolgen in der Zeile 32 in den Spalten D und H.

Ab 2004 sollen zwar erstmals die Entsorgungsmengen präzise ermittelt werden. Eine Rekalkulation für die bisher berichteten Jahre ist aber nicht vorgesehen, da höchstwahrscheinlich nicht durchführbar.

F-Gas-Blatt 29 Schallschutzscheiben

F-Gas	SF₆
Anwendung	Schallschutzscheiben
Berichtsjahre	1995 – 2002
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen (Befüllemmissionen)
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand
Emissionstyp 5	Entsorgungsemissionen

Hintergrund

Seitdem sich in Deutschland in den siebziger Jahren bei Fenstern Isolierglas gegen Einfachverglasung durchgesetzt hatte, wurde der Scheibenzwischenraum zur Erhöhung der Schalldämmung genutzt. Die Einfüllung von SF₆ reduziert die Schallwirkung gegenüber Luft um 2 bis 4 dB. Damit wurde 1975 begonnen. 1990 waren von 26 Mio. m² neuem Isolierglas ca. 1,9 Mio. m² oder 6% Schallschutzglas mit SF₆.

Der vereinigungsbedingte Neubau- und Sanierungsboom führte zu einem weiteren Anstieg bis 1995/97: 36 Mio. m² Isolierglas, davon 2,5 Mio. m² SF₆-haltige Verglasung (die es in der DDR nicht gegeben hatte). Nach dem Ende des Baubooms hat sich bis 2002 die schallgedämmte Glasfläche auf 1,9 Mio. m² als möglichen Normalwert stabilisiert.

Seit Ende der 90er Jahre ist in der Schallschutzverglasung eine starke Verschiebung von der SF₆-Füllung zu Scheiben festzustellen, die Schall ohne dieses Gas, durch veränderten Glasaufbau, dämmen und den Scheibenzwischenraum ganz für Wärmedämmung mit Argon nutzen können.

Schallschutzscheiben werden in Deutschland in fast 400 Betrieben hergestellt und gegebenenfalls mit Gas befüllt.

Außenhandel mit fertigen Scheiben spielt keine nennenswerte Rolle.

I. Inländischer SF₆-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

1. Aktivitätsdaten. SF₆-Verbrauch zur Befüllung seit 1995

Da die Befüllemissionen (E_{manu}) proportional zum inländischen SF₆-Verbrauch zur Scheibenfüllung (C_{manu}) verlaufen, wird zuerst dessen Höhe seit 1995 ermittelt.

Tab. 1: SF ₆ -Neuverbrauch zur Befüllung von Schallschutzscheiben seit 1995 in t/a	
1995	275
1996	204
1997	169
1998	111
1999	96
2000	86
2001	75
2002	42

Quelle: Befragung des Spezial-Gasehandels.

Kommentar zum sinkenden SF₆-Verbrauch seit 1995

Obwohl die Schallschutzverglasung nicht an Bedeutung verliert, ist der SF₆-Neuverbrauch für Schallschutzscheiben seit 1995 um fast 85% zurückgegangen.

Der erste Grund dafür sind die erhöhten Anforderungen an den Wärmeschutz, die - bei gleich bleibender Scheibentechnologie - die Befüllung mit Argon begünstigen. Der mittlere Anteil von SF₆ gegenüber Argon in Schallschutzscheiben hatte 1995 noch über 80% betragen. Bis 2000 sank er auf 30%, die bis auf weiteres als Normalwert gelten können.

Der zweite Grund für den SF₆-Rückgang ist der Bedeutungszuwachs SF₆-freier Scheibentechnologien. Da SF₆ gegenüber Luft und Argon die Wärmedämmung vermindert, werden immer mehr Schallschutzscheiben eingesetzt, die gleichwertige Schalldämmung durch veränderten Glasaufbau (größerer Scheibenzwischenraum, unterschiedliche Dicke der Gläser, Gießharz- oder Folienfüllungen u. dgl.) erzielen.

2. Emissionsfaktor konstant 33% für die Befüllung

Befüllungsverluste (Überfüllung) fallen ausschließlich im Fertigungsjahr an. Vom SF₆-Verbrauch entweicht bei der Befüllung des Scheibenzwischenraums ein Drittel. Der Emissionsfaktor (EF_{manu}) ist daher 33% bezogen auf den Jahresverbrauch (C_{manu}).

Sowohl bei Handgeräten als auch bei automatischen Gasfüllpressen sind Verwirbelungen im Innenraum unvermeidlich, so dass nicht nur Restluft, sondern auch ein Luft-SF₆-Gemisch austritt, und zwar umso mehr davon, je weiter fortgeschritten der Befüllungsvorgang ist. Der Gasverlust, die sog. Überfüllung, reicht von 20 bis 60% der Einfüllmenge. Relativ ist er umso größer, je kleiner die Scheibe ist. Im Durchschnitt, d.h. über das gesamte Spektrum der befüllten Scheibenformate, beträgt die Überfüllung 50% auf die tatsächlich im Scheibenzwischenraum verbleibende Menge. Das ist ein Drittel (33%) der jeweiligen Verbrauchsmenge.

Aufgrund der seit vielen Jahren unveränderten Befüllungstechnik (langsames Einströmen durch Bohrloch oder aufgebogenen Spalt, meist von oben nach unten, bei atmosphärischem Druck) und des nicht wesentlich veränderten geometrischen Spektrums der Scheiben ist nicht anzunehmen, dass sich der Emissionsfaktor verändert hat. Er wird als Konstante behandelt.

3. Befüllungsemissionen seit 1995

Die Befüllverluste (Em_{manu}) betragen jeweils 33% der in Tab. 1 angeführten Jahresverbräuche. Die Formel für die Berechnung lautet:

$$Em_{\text{manu } n} = EF_{\text{manu}} (33\%) \times C_{\text{manu } n}$$

Dabei sind $Em_{\text{manu } n}$ die Befüllungs-Emissionen im Jahr n . EF_{manu} ist der Emissionsfaktor für die Befüllung in Höhe von 33%. $C_{\text{manu } n}$ ist der inländische Verbrauch (Consumption) im Jahr n für die Verwendung in Schallschutzscheiben. Daraus ergibt sich folgende Zeitreihe seit 1995 (Tonnen, gerundet). Die Tab. 2 enthält außerdem noch aus Tab. 1 die jährlichen Verbräuche (kursiv).

Tab. 2: Befüllemissionen und Inlandsverbrauch von SF ₆ für Schallschutzscheiben 1995-2002 (Emissionsfaktor 33%)		
	Befüllemissionen t/a	<i>Inlandsverbrauch t/a</i>
1995	92	275
1996	68	204
1997	56	169
1998	37	111
1999	32	96
2000	29	86
2001	25	75
2002	14	42

Quelle: Inlandsverbrauch aus Tab. 1. Befüllemissionen: 33% des Inlandsverbrauchs.

Kommentar

Die sinkenden Emissionen ergeben sich aus den rückläufigen Verbrauchsmengen, denen sie proportional folgen. Sie reagieren absolut flexibel auf Änderungen der Verbräuche. Anders als bei Bestands- oder Entsorgungsemissionen führt die Einstellung der Befüllung unmittelbar zur Beendigung dieser Form der Emission.

4. Informationsquellen I

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Zum Emissionsfaktor wurden Experten aus den Kreisen der Scheibenhersteller, der Gasfüllgerätehersteller und des führenden Prüfinstituts für Fenstertechnik befragt. Technische und wirtschaftliche Basisinformationen kamen aus den gleichen Quellen. Die SF₆-Inlandsverbräuche seit 1995 wurden durch Befragung des Spezial-Gasehandels ermittelt, indem die einschlägigen SF₆-Lieferanten veranlasst wurden, ihre Inlandsabsätze an die Kundengruppe der Scheibenhersteller zusammenzufassen und zu berichten.

4.a Technische und wirtschaftliche Basisinformationen

1. Fachliteratur und Wissenschaft

Derner, P., Schalldämm-Isolierglas, in: Funktions-Isoliergläser: moderne Verglasungen für Fenster und Fassaden, Hg. H.J. Gläser, Ehningen 1992, 45-82.

Huntebrinker, K., Die thermischen Eigenschaften des Mehrscheiben-Isolierglases, in: Mehrscheiben-Isolierglas. Verhalten und Eigenschaften, Hg. H.J. Gläser, Renningen 1995, 25-46.

Holler, G., Die Gas- und Wasserdampfdurchlässigkeit des Isolierglasrandverbundes und die Alterungsbeständigkeit des Mehrscheiben-Isolierglases (MIG), Hg. H.J. Gläser, Renningen 1995, 68-99.

i.f.t. Institut für Fenstertechnik e.V., Rosenheim, Schreiben an ÖR, 02.08.99.

2. Führende Isolierglas-Herstellergruppen (Marktanteil zusammen über 50%)

VEGLA Vereinigte Glaswerke GmbH, Aachen [jetzt Saint-Gobain Glass], 15.04.96, 02.05.96, 10.06.02.

Flachglas AG, Gelsenkirchen, 06.05.96.

Isolar Glas-Beratung GmbH, Kirchberg, 02.05.96, 03.07.96, 28.07.99.

Sanco Glas GmbH & Co KG, Nördlingen, 15.05.96, 29.07.99.

Interpane Glasgesellschaft mbH, Plattling, 28.05.96, 29.07.99.

3. Die drei führenden Anbieter von Scheiben-Gasfüllgeräten

DCL Glas Consult GmbH [jetzt DGT-Anlagen und Systeme GmbH], Sauerlach, 22.05.96.

Lenhardt Maschinenbau GmbH, Neuhausen, 23.05.96.

Ratiotechnik GmbH & Co KG, Braunschweig, 03.09.96.

4.b Zum Befüll-Emissionsfaktor [in Klammer die jeweilige Expertenschätzung]

Isolar Glas-Beratung GmbH, Kirchberg, 02.05.96, 03.07.96 [40%], 28.07.99. [40%]

Interpane Glasgesellschaft mbH, Plattling, 28.05.96 [20-30%]

Sanco Glas GmbH & Co KG, Nördlingen, 15.05.96 [bis 60%], 29.07.99. [30%]

Glas-Trösch AG, Bützberg, 02.08.99 [>30%]

Unilux AG, Salmtal, 05.06.96 [40%]

DCL Glas Consult GmbH [jetzt DGT-Anlagen und Systeme GmbH], Sauerlach, 22.05.96 [20-50%]

Lenhardt Maschinenbau GmbH, Neuhausen-Hamberg, 23.05.96 [40%]

i.f.t. Institut für Fenstertechnik e.V., Rosenheim, 28.07.99 [>30%]

4.c Die jährlichen SF₆-Verbräuche im Inland

Ausimont (Deutschland) GmbH, Eschborn, Norbert Jäger, Verkauf Fluorprodukte und Chemikalien Fachgespräch mit ÖR, 16.04.96; Mitt. am 29.03.99. Seitdem keine Lieferungen an Scheibenhersteller mehr.

Messer Griesheim GmbH, Krefeld, 22.04.96, Mitt. an das UBA 17.03.99, Mitt. an ÖR 29.07.99 Mitt. an ÖR 10.06.02; 22.09.03.

Chemogas GmbH, Bochum, 21.5.1996. Mitt. an das UBA 22.3.99. Chemogas nun zu Linde gehörig): Linde AG, Höllriegelskreuth, 29.07.99.

Air Products GmbH, Hattingen, 29.05.96, 16.08.99, 04.06.02; 22.09.03.

Linde AG, Höllriegelskreuth, 29.04.96, Mitt. an das UBA 15.03.99, Mitt. an ÖR 29.07.99, 17.06.02. 17.09.03.

AGA Gas GmbH, Hamburg, 30.05.96, Mitt. an das UBA 16.03.99. Das Geschäft seit 1999 ist in Linde enthalten.

Air Liquide GmbH, Düsseldorf, Mitt. an ÖR 02.05.96, Mitt. an das UBA 17.03.99, Mitt. an ÖR 27.5.02; 16.07.03.

5. Datensicherheit und Qualitätskontrolle I

Aktivitätsdaten. Die mittels top-down-Erhebung gewonnenen Verbräuche (Inlandsabsatz des Gasehandels) sind wie alle kommerziellen Verkaufsdaten als ausreichend verlässlich und vollständig zu bewerten. Einkaufsdaten der Hersteller entfallen aus praktischen Gründen für eine bottom-up-Gegenprobe, da die Anzahl mit fast 400 zu groß ist. Dagegen kann das Berechnungsmodell für die Bestands- und die Entsorgungsemissionen (siehe Teil II und III) zur Plausibilitätskontrolle des jährlichen SF₆-Verbrauchs herangezogen werden. Als Beispiel dient das Jahr 2001, für das vom Gasehandel 75 t Absatz an Scheibenhersteller gemeldet wurden.

Plausibilitätskontrolle für 2001 mithilfe des Berechnungsmodells:

1. Neue Schallschutzscheiben mit SF ₆ (Schätzung)	1.750.000 m ²
2. Scheibenzwischenraum (SZR)	16 mm = 16 Liter (16 l) pro m ²
3. Molare Masse SF ₆	146,05 (g/mol)
4. Theor. SF ₆ -Maximum pro m ² Scheibe	104,32 g (146,05 g*16 l/22,4 l)
5. Reales SF ₆ -Maximum pro m ² (wg. 10% Restluft)	93,9 g (104,32*90%)
6. SF ₆ pro m ² Scheibe bei Mischgas SF ₆ 30/Ar 70	28,1668 g (93,9 * 30%)
7. SF ₆ in allen neuen SF ₆ -Scheiben	49.292 kg (1,750 Mio.*28,16 g)
8. 33% Befüllverlust (50% der Befüllung)	24.646 kg (49.292 kg / 2)
9. Einsatzmenge (Füllung + Befüllverlust)	73.938 kg (Summe von 7.+8.)

Für die Aktivitätsdaten legt die technische Plausibilitätskontrolle hohe Sicherheit nahe, da den rechnerischen 73,938 t gemeldete 75 t gegenüberstehen. Der rechnerische Verbrauch hängt vor allem von Verglasungsfläche ab, die wiederum auf Expertenschätzung (hier: ÖR) beruht.

Emissionsfaktor. Der EF für die Befüllung, auch "Überfüllung" genannt, kann angesichts der Vielfalt der Einflussfaktoren nicht verbindlich gemessen werden. Die Schätzung der von ÖR in 1996 und 1999 befragten zehn Branchenexperten (aus Kreisen der Scheibenhersteller, Füllgerätlieferanten und eines wissenschaftlichen Instituts) lässt kaum einen anderen Schluss zu, als dass sich der mittlere Befüllungsverlust zwischen 30% und 40% bewegt.

Es wurden folgende Werte genannt (siehe oben sub 4.b Firmenzugehörigkeit der Experten):

20%-30%	1x
30%	1x
> 30%	2x
20%-50%	1x
40%	4x
< 60%	1x

Daraus einen Wert von 33% als realitätsnah abzuleiten, erscheint legitim.

Laut IPCC-GPG beträgt die Datensicherheit für "filling emissions" $50 \pm 10\%$. Die 50% werden auf die Neufüllung ($I_{n \text{ bank}}$) bezogen und entsprechen 33%, wenn sie auf den Verbrauch (C_{manu}) bezogen werden.

6. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Aktivitätsdaten: IPCC GPG schlägt unter "3.5.2 Other sources of SF₆" für Sound-proof windows einen Top-down Ansatz vor, der sich auf die Lieferdaten der SF₆-Distributoren in diese Anwendung stützt. Dem entspricht die Methode von ÖR.

Emissionsfaktor: Dies gilt auch für die Bestimmung des Emissionsfaktors. Es wird die Gleichung 3.24 vorgeschlagen "Assembly Emissions = 0.33 x Window Capacity".

7. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu SF₆ für Schallschutzscheiben primär eingetragen werden, ist Table 2(II)Fs2, Zeile 37.

II. SF₆-Zugang zum Bestand und Bestands-Emissionen

Der SF₆-Endbestand in der Gesamtheit der Schallschutzscheiben eines bestimmten Jahres n (EB n) verändert sich jährlich grundsätzlich um den Saldo aus Zugang (In_{bank} n) und Abgang (De_{bank} n). Abgänge kommen bei einer Lebensdauer von 25 Jahren erst seit 2000 systematisch vor, so dass bis 1999 nur Neuzugänge (In_{bank}) zu berücksichtigen sind (De_{bank} = 0).

Laufende Bestandsemissionen (Em_{op}) beziehen sich auf den seit 1975 durch jährliche Zugänge in verbauten Scheiben akkumulierten SF₆-Bestand, der im Durchschnitt des Jahres n besteht. Dieser mittlere Jahres-Bestand (B n) ist die Hälfte der Summe des Endbestands des Vorjahres ($n-1$) und des aktuellen Jahres (n).

Als Formel:

$B_n = \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2} \quad \text{wobei} \quad EB_n = EB_{n-1} + In_{bank\ n} - De_{bank\ n}$
--

Allgemeine Bedingung der Bestandsermittlung ist, dass für den Endbestand jeden Jahres n stets der Endbestand (bzw. Zugang) des Vorjahres $n-1$ bekannt ist. Daraus folgt ein Regress bis auf das erste Einsatzjahr von SF₆. Diese historische Rückrechnung reicht bei Schallschutzscheiben so viel weiter in die Vergangenheit als etwa bei HFKW-Systemen, weil SF₆ im Schallschutz schon seit 1975 vorkommt.

In Teil I wurden die jährlichen SF₆-Zugänge (In_{bank}) der Jahre 1995 bis 2002 bereits implizit erörtert, und zwar in Tab. 2 als Differenzen zwischen inländischem Neuverbrauch (C_{manu}) und Befüllemmissionen (Em_{manu}). Nächster Schritt ist die Rekonstruktion der SF₆-Zugänge in den Jahren davor: 1975 bis 1994.

8. Rekonstruktion der SF₆-Zugänge in Scheiben 1975-1994

Eine durchgehende statistische Erfassung der jährlichen SF₆-Verbräuche (C_{manu}) für Schallschutzscheiben seit 1975 wäre hilfreich, gibt es aber nicht. Die Daten mussten statt dessen mit Expertenhilfe rekonstruiert werden. Für eine qualifizierte Schätzung kamen nur Fachleute in Frage, die einen guten Marktüberblick mit langer Erfahrung in der Branche vereinten.

1. Der Verkaufsleiter Fluorprodukte der Ausimont Deutschland GmbH, seit 1967 im SF₆-Verkauf für den deutschen Markt tätig, hatte solche Marktkenntnisse und verfügte außerdem über das firmeneigene Archiv mit Verkaufsdaten seit jener Zeit (Direktvertrieb und Belieferung des größten inländischen Gasehändlers). Zusammen mit Ausimont entwickelte ÖR 1996 per Hochrechnung eine Zeitreihe der bundesweiten SF₆-Verkäufe für Schallschutzscheiben, die von 1976 (Jahr des Einstiegs des italienischen SF₆-Herstellers in das "Glasgeschäft") bis 1994 reicht.

2. Diese Zeitreihe wurde in einem Fachgespräch von ÖR bei der Pilkington Flachglas AG in Gelsenkirchen weiter gefestigt. Die Flachglas AG war 1996 nicht nur inländischer Marktführer bei Schallschutzscheiben (Marke Phonstop), sondern verfügte auch über eine Statistik der gesamten deutschen Jahresproduktion an Schallschutzscheiben ab 1990 (in Quadratmetern).

Der Entwicklung des inländischen Absatzes von SF₆ für Schallschutzscheiben von 1975 bis 1994 liegen folgende Tendenzen zugrunde.

- Die Fläche verbauter SF₆-haltiger Schallschutzscheiben beginnt mit 50.000 m² 1975 und 100.000 m² 1976. Bis 1990 nimmt sie gleichmäßig um 100.000 m² gegenüber dem Vorjahr zu und erreicht 1,5 Mio. m² in 1990. Danach steigt die Fläche steiler an, und zwar noch bis auf 2,4 Mio. m² in 1994.
- Der durchschnittliche Scheibenzwischenraum erhöht sich von 1975 bis 1990 gleichmäßig von 12 auf 16 mm und bleibt dann konstant. (Der Scheibenzwischenraum enthält wegen der 10% Restluft nur zu 90% Füllgas.)
- Von 1975 bis 1986 wird als Füllgas ausschließlich SF₆ verwendet. Von 1987 bis 1994 sinkt der Anteil von SF₆ an der Mischung mit Argon auf mittlere 82%.

Die aus dem Modell abgeleiteten jährlichen Verbräuche liegen durchweg in der Größenordnung der von den Ausimont-Verkäufen abgeleiteten Hochrechnungen.

Zeitreihe der jährlichen SF₆-Neuzugänge 1975-1994

Daraus ergibt sich folgende Zeitreihe der effektiven jährlichen Neueinfüllungen (In_{bank}) in Tonnen. Zu beachten ist, dass diese Zugänge nicht mit den Neuverbräuchen identisch sind, sondern um den Befüllverlust (Em_{manu}) von 33% kleiner.

Tab. 3: Rekonstruktion der SF ₆ -Neuzugänge zum Bestand in Schallschutzscheiben 1975-1994 in t/a				
1975	3,5		1985	86,0
1976	7,2		1986	96,4
1977	14,7		1987	104,4
1978	22,5		1988	112,0
1979	30,7		1989	116,4
1980	39,1		1990	119,7
1981	47,9		1991	132,4
1982	57,0		1992	149,3
1983	66,3		1993	166,3
1984	76,0		1994	175,5

Erläuterung: SF₆-Neuzugang ist SF₆-Neuverbrauch minus 33% Befüllverlust.

Kommentar

Die – rekonstruierte - Zeitreihe vor 1994 weist einen ungebrochenen und stetigen Aufstieg auf. Dieser hält, wie in Teil I erörtert, noch bis zum Jahr 1995 an, wo mit 183 t (275 t - 92 t) der historische Spitzenwert erreicht wird. Danach sinken die Neubefüllungen (In_{bank}) rasch ab. (Sie betrugen im Jahre 2002 nur noch 28 t.)

Informationsquellen zur Rekonstruktion der Jahre 1975 bis 1994

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Ausimont (Deutschland) GmbH, Eschborn, Fachgespräch mit ÖR, 16.04.96.
 Flachglas AG, Gelsenkirchen, Fachgespräch mit ÖR, Gelsenkirchen 06.05.96.

9. Emissionsfaktor pro Jahr für laufende Gasverluste aus dem Bestand

Aus dem in den verbauten Scheiben angehäuften SF₆-Bestand entweicht ständig eine bestimmte kleine Menge. Eine DIN-Norm (DIN 1286, T 2) schreibt 10 Promille jährlichen Verlust der Gasfüllung durch die Randabdichtung der Scheibe als Obergrenze vor. Laut einhelliger Expertenaussage liegt der reale Gasverlust bei intaktem Glas zwar deutlich darunter. Infolge Glasbruch bei Transport, Einbau und Nutzung sowie der mit dem Alter zunehmenden Undichtheit des Randverbunds sind 1% laufende Gasverluste (EF_{op} = 1%) jedoch als realistisch anzusehen.

10. Endbestand und mittlerer Bestand eines aktuellen Jahres

Die laufenden Emissionen (Em_{op n}) folgen der Gleichung:

$$Em_{op\ n} = EF_{op\ (1\%)} \times \frac{EB_{n-1} + EB_n}{2}$$

Dennoch reichen die Informationen nicht aus, um für alle Jahre seit 1975 – und besonders ab 1995 – die laufenden Emissionen zu bestimmen. Ursache ist, dass weder Endbestand (EB) noch mittlerer Bestand (B) eines beliebigen Jahres durch aufsummierte Neuzugänge (abzgl. ev. Entsorgung) allein definierbar sind. Im Falle von Schallschutzscheiben ist der SF₆-Bestand (Endbestand/mittlerer Bestand) selber in seinem Umfang durch die zeitlich vorhergehenden lfd. Emissionen mit beeinflusst. Dieser Punkt bedarf der Erläuterung.

Der SF₆-Endbestand eines beliebigen Jahres n (EB n) besteht zwar grundsätzlich aus den seit 1975 angehäuften Neuzugängen (In_{bank}). Der Bestandszuwachs pro Jahr ist jedoch nicht gleich dem jährlichen Neuzugang, sondern etwas geringer. Denn es muss für jedes Jahr (seit 1975) auch der laufende Gasverlust (Em_{op}) als Abgang vom Bestand in Rechnung gestellt werden, so dass die Gleichung "Bestand im Jahre n ist gleich Summe der seit 1975 erfolgten Neuzugänge" zu modifizieren ist.

Anders als bei Kälte- oder Klimaanlageanlagen, wo lfd. Emissionen nicht als den Bestand mindernd behandelt werden, sondern die Rate der lfd. Emissionen (EF_{op}) stets an volle Bestände angelegt wird, wird bei Schallschutzscheiben der Emissionsfaktor als Quote der jeweils noch in der Scheibe enthaltenen, nicht der ursprünglich eingefüllten Gasmenge betrachtet. Sachlicher Grund dafür ist, dass Scheiben im Gegensatz zu Kälte- oder Klimaanlageanlagen grundsätzlich nicht nachgefüllt werden.

Der Endbestand des Jahres n ist daher nur vorläufig, noch nicht abschließend bestimmt, wenn er nur den Endbestand des Vorjahres (EB n-1) plus den Zugang (In_{bank n}) und ev. Abgänge durch Entsorgung (De_{bank n}) im aktuellen Jahr umfasst. EB n wird daher in der Gleichung zu EB n [vorl.].

$$EB\ n\ [vorl.] = EB_{n-1} + In_{bank\ n} - De_{bank\ n}$$

Abschließend ist der Endbestand EB n erst bestimmt, wenn auch die Verminderung durch laufende Emissionen im selben Jahr n (Em_{op n}) berücksichtigt ist:

$$EB\ n = EB_{n-1} + In_{bank\ n} - De_{bank\ n} - Em_{op\ n}$$

Wegen der Einbeziehung der Abgänge durch laufende Emissionen aus dem Bestand jeden Jahres ist der Endbestand eines beliebigen Jahres erst dann definiert, wenn der

Endbestand des Vorjahres um den Netto-Neuzugang ($\text{In}_{\text{bank } n} - \text{De}_{\text{bank } n}$) im aktuellen Jahr vermehrt und um die laufenden Emissionen ($\text{Em}_{\text{op } n}$) im aktuellen Jahr vermindert ist. Endbestand ohne bzw. vor Berücksichtigung laufender Emissionen ist vorläufiger Endbestand ($\text{EB } n [\text{vorl.}]$). Dieser ist eine wichtige Größe, weil sich der mittlere Bestand, auf den sich die laufende Emissionsrate bezieht, aus der Halbierung der Summe der vorläufigen Endbestände des Vorjahres und des aktuellen Jahres ergibt: $B \ n = (\text{EB } n-1 [\text{vorl.}] + \text{EB } n [\text{vorl.}]) \times 0,5$.

11. Endbestände, mittlere Bestände und lfd. Emissionen seit 1975

End- und mittlere Bestände späterer Jahre bauen nicht nur (wie in Abschn. 8 gezeigt) auf allen Endbeständen und Netto-Neuzugängen seit dem Anfangsjahr 1975 auf, sondern werden auch durch sämtliche laufenden Emissionen seit 1975 mitbestimmt.

Tab. 4: Zugänge, Endbestände, Mittlere Bestände und lfd. Emissionen von SF₆ bei Schallschutzscheiben von 1975 bis 2002 (in t/a)

	Zugang	EB n [vorl.]	Mittl. Best.*	Lfd. Emiss.	EB n**
	$\text{In}_{\text{bank } n}$	$\text{EB } n-1 + \text{In}_{\text{bank } n}$	$B \ n \ *$	$1\% \times B \ n$	
1975	3,5	3,5	1,8	0,018	3,5
1976	7,2	10,7	7,1	0,07	10,6
1977	14,7	25,3	18,0	0,18	25,1
1978	22,5	47,7	36,5	0,36	47,3
1979	30,7	78,0	62,8	0,63	77,3
1980	39,1	116,4	97,2	0,97	115,5
1981	47,9	163,4	139,9	1,40	162,0
1982	57,0	218,9	191,1	1,91	217,0
1983	66,3	283,4	251,1	2,51	280,8
1984	76,0	356,9	320,1	3,20	353,7
1985	86,0	439,8	398,3	3,98	435,8
1986	96,4	532,2	486,0	4,86	527,3
1987	104,4	631,7	581,9	5,82	625,8
1988	112,0	737,9	684,8	6,85	731,1
1989	116,4	847,4	792,7	7,93	839,5
1990	119,7	959,2	903,3	9,03	950,2
1991	132,4	1082,6	1020,9	10,21	1072,4
1992	149,3	1221,7	1152,2	11,52	1210,2
1993	166,3	1376,5	1299,1	12,99	1363,5
1994	175,5	1539,1	1457,8	14,58	1524,5
1995	183,2	1707,7	1623,4	16,23	1691,5
1996	135,9	1827,4	1767,6	17,68	1809,7
1997	112,7	1922,4	1874,9	18,75	1903,7
1998	74,0	1977,6	1950,0	19,50	1958,1
1999	64,1	2022,2	1999,9	20,00	2002,2
2000	57,2	2059,4	2040,8	20,41	2036,2
2001	50,0	2086,2	2072,8	20,73	2059,9
2002	28,2	2088,1	2087,1	20,87	2055,8

* $B \ n = (\text{EB } n-1 [\text{vorl.}] + \text{EB } n [\text{vorl.}]) \times 0,5$; ** $\text{EB } n = \text{EB } n-1 + \text{In}_{\text{bank } n} - \text{Em}_{\text{op } n} - \text{De}_{\text{bank } n}$.
Im Vorgriff: Entsorgung ($\text{De}_{\text{bank } n}$) bis 1999 = 0; 2000: 5,6 t; 2001: 11,4 t; 2002: 17,5 t.

Tab. 4 gibt die Zahlenreihe für Zugänge, vorläufige und endgültige Bestände zum Jahresende, mittlere Bestände und die laufenden Emissionen wieder für die Jahre 1975 bis 2002. Seit 2000 kommt Entsorgung vor.

Kommentar

Die laufenden Emissionen aus dem Bestand sind seit 1975 kontinuierlich gestiegen, haben aber erst 2002 mit knapp 21 t das Niveau der Befüllemmissionen übertroffen, als letztere schon wieder stark rückläufig waren. Seit dem Jahr 2000 hat sich das Wachstum der laufenden Emissionen deutlich verlangsamt, da mit dem Einsetzen der Entsorgung bei gleichzeitig vermindertem Zugang ($\ln_{\text{bank}}$) das Wachstum des mittleren Bestands fast zum Stillstand gekommen ist. In 2002 ist erstmals ein Rückgang des Endbestands festzustellen (EB n = 2055,8 t), was ab 2003 zu einem Rückgang des mittleren Bestands (B n) und damit der laufenden Emissionen führt.

Mittelfristig erhöht sich der mittlere Bestand nicht mehr, weil sowohl die Neuzugänge zurückgehen als auch die Abgänge durch Entsorgung wachsen. Dennoch werden die laufenden Emissionen nur langsam sinken. Selbst bei "Neuzugang 0" ab 2005 betrügen sie im Jahr 2020 noch über 6 t/a.

III. SF₆-Entsorgung und Entsorgungsemissionen

SF₆ aus alten Schallschutzscheiben wird nicht zurückgewonnen. Der Emissionsfaktor der Entsorgung (EF_{disp}) beträgt 100% der zur Entsorgung anstehenden Gasmenge. Dieser Sachverhalt ist unstrittig. Dagegen ist zu klären, wie viel von dem ursprünglich in die neue Scheibe gefüllten Gas zum Entsorgungszeitpunkt noch vorhanden ist. Wie in Teil II gezeigt wurde, emittiert während der Nutzungszeit eine Teilmenge. Bei gegebenem Faktor der laufenden Emissionen von 1% pro Jahr, hängt daher der zur Entsorgung anstehende SF₆-Rest von der Lebensdauer der Schallschutzscheibe ab.

12. Lebensdauer von Schallschutzscheiben konstant 25 Jahre

Als normale Lebensdauer von Isolierglasscheiben werden von den befragten Experten 15-30 Jahre genannt. Die Haltbarkeit hängt vornehmlich von der Kleb- und Dichtmasse des versiegelnden Randverbundes ab, der dem Verschleiß durch Witterung und UV/IR-Strahlung mit nachfolgender Rissbildung ausgesetzt ist. Dadurch kann Luftfeuchte in den Scheibenzwischenraum eindiffundieren, ebenso wie Wasserdampf aus feuchten Fensterrahmen. Irgendwann ist die Bindungskapazität des Trockenmittels überschritten, und es kommt bei Temperaturabsenkung zu irreparablen Kondensationsbeschlag ("Erblindung"). Damit ist zugleich klar, dass die normale Lebensdauer einer Scheibe von der geografisch-klimatischen Lage ihres Einbauorts und auch der Himmelsrichtung am Gebäude abhängt. Als durchschnittliche Lebensdauer für Deutschland wurden einhellig 25 Jahre genannt. Zwar habe sich die Normal-Lebensdauer gegenüber den ersten Einbaujahren durch bessere Abdichtung verlängert, doch gab es keinen Experten, der sagen konnte, um wie lange. Nachfolgend gilt daher eine konstante Lebensdauer von 25 Jahren.

Informationsquellen zur Lebensdauer und zum laufenden Bestandsverlust

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Schriftliche Quellen

Holler, G., Die Gas- und Wasserdampfdurchlässigkeit des Isolierglasrandverbundes und die Alterungsbeständigkeit des Mehrscheiben-Isolierglases (MIG), Hg. H.J. Gläser, Renningen 1995, 68-99.

DIN 1286, Teil 2, Mehrscheiben-Isolierglas gasgefüllt. Zeitstandsverhalten, Grenzabweichungen des Gasvolumenanteils, Mai 1989.

Persönliche Mitteilungen

VEGLA Vereinigte Glaswerke GmbH [jetzt Saint-Gobain Glass], Aachen, Fachgespräch mit ÖR, Aachen 15.04.96, u. Mitt an ÖR 02.05.96.

Pilkington Flachglas AG, Gelsenkirchen, Mitt an ÖR 18.04.96.

Isolar Glas-Beratung GmbH, Kirchberg, 02.05.96.

Flachglas AG, Gelsenkirchen, Fachgespräch mit ÖR, Gelsenkirchen 06.05.96.

Sanco Glas GmbH & Co KG, Nördlingen, 15.05. 96.

13. Entsorgungsemissionen

Da mit jedem Jahr die Scheibe 1% Gas vom Vorjahreswert verliert, enthält ein Scheibenjahrgang bei der Entsorgung nach 25 Jahren nicht mehr die ganze ursprüngliche Füllung, sondern 25 laufende Jahresverluste weniger. Bei dem laufendem Emissionsfaktor EF_{op} in Höhe von 1% (0,01 auf 1), beträgt der SF₆-Gehalt im

Entsorgungsjahr nur noch 77,78%, nämlich $(1 - 0,01)^{25}$ der Erstbefüllung. Da keine Rückgewinnung stattfindet, wird die ganze Entsorgungsmenge zu Emission ($EF_{\text{disp}} = 100\%$). Als Gleichung:

$$Em_{\text{disp } n} = EF_{\text{disp}} (100\%) \times In_{\text{bank } n-25} \times (1 - EF_{\text{op}})^{25}$$

Erläuterung. $Em_{\text{disp } n}$: Entsorgungsemissionen im Jahr n. $In_{\text{bank } n-25}$: Neubefüllung 25 Jahre vor dem Entsorgungsjahr. EF_{op} : Faktor der lfd. Bestandsemissionen (0,01).

14. Zeitreihe Entsorgungsemissionen

Unter der Annahme einer 25-jährigen Lebensdauer stand erstmalig im Jahr 2000 ein ganzer Jahrgang, nämlich 1975, zur Entsorgung an. Im Jahr 2001 folgte der zweite Jahrgang, nämlich 1976, usw. Die im Jahr n jeweils 25 Jahre zurückliegenden Bestandszugänge ($In_{\text{bank } n-25}$) sind in den Tab. 3 und 4 abzulesen. Die zur Entsorgung noch anstehende Menge, die gleichzeitig Entsorgungsemissionen darstellt, ist jeweils um die in 25 Jahren eingetretenen lfd. Bestandsverluste von 22,22% (100%-77,78%) reduziert.

Entsorgungsverlust 2000: Zugang 1975 (3,5 t) x 77,78% = 2,7 t

Entsorgungsverlust 2001: Zugang 1976 (7,2 t) x 77,78% = 5,6 t

Entsorgungsverlust 2002: Zugang 1977 (14,7 t) x 77,78% = 11,4 t

Kommentar zur Zeitreihe Entsorgungsemissionen

Die Entsorgungsemissionen steigen stetig weiter an, weil die Neubefüllungen ihren Höhepunkt erst im Jahr 1995 erreichten. Der Höhepunkt der Entsorgungsverluste wird im Jahr 2020 erreicht, unabhängig davon, ob und wie viel SF₆ noch für neue Schallschutzscheiben in den nächsten Jahren eingesetzt wird. Im Jahr 2020 werden allein diese Emissionen 142 t/a betragen.

15. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle II

1. Laufender Emissionsfaktor 1% aus dem Bestand

DIN 1286, Teil 2, schreibt als Obergrenze für laufende Emissionen durch die Abdichtung hindurch 1% vor. Alle im Jahr 1996 befragten sechs Experten stimmen darin überein, dass die Diffusionsverluste aus intakten Scheiben in der Realität weit darunter liegen. Dennoch kommen die Experten einstimmig zu einer Größenordnung von 1%, sobald sie den Glasbruch nach Herstellung der Scheibe berücksichtigen.⁵

Die Qualität des geschätzten Emissionsfaktors ist als ausreichend gut zu bewerten. Laut IPCC-GPG beträgt die Datensicherheit für "leakage/breach emissions" $1 \pm 0,5\%$.

⁵ Nicht darin eingeschlossen sind Entsorgungsemissionen. Daher war die als verlässlich geltende Statistik der Flachglas AG für vorliegende Zwecke nicht geeignet. Diese hatte für den westdeutschen Verglasungsbestand Ende 1992 eine "Bruchquote" von 1,5% berechnet (8,5 Mio. qm von 575 Mio. qm). Darin waren nicht nur "normale" Glasbrüche während der Nutzphase enthalten, sondern auch Glaszerstörungen im Zuge von Altfensteraustausch oder Gebäudeabriss.

2. Entsorgungsverlust 100% der Entsorgungsmenge

Da es in Deutschland weder Praxis ist noch als praktikabel gilt, SF₆ bei der Entsorgung von Schallschutzscheiben zurück zu gewinnen, gibt es keinen Zweifel an einer vollständigen Freisetzung der Restmenge in die Atmosphäre.

3. Aktivitätsdaten: Rekonstruierte Inlandsverbräuche 1975-1994

Für die absolute Höhe der Entsorgungsverluste und zu großem Teil auch der laufenden Bestandsemissionen sind Daten maßgeblich, die sich auf rekonstruierte Verkaufszahlen stützen, die zum Zeitpunkt der Expertenschätzung teilweise über 20 Jahre alt waren. Ein solcher Fall ist einmalig im System der Berichterstattung über fluoridierte Treibhausgase. Die Daten von 1975 bis 1989, aber auch der etwas besser abgesicherte Zeitraum 1990-1994, sind als gut geschätzte Größenordnungen zu kennzeichnen. Als "gut" geschätzt können sie aus drei Gründen gelten.

Erstens, weil die Rekonstruktion auf empirisch begründeten Trendannahmen beruht über a) Scheibenzwischenraum, b) SF₆-Anteil an der Füllung und c) verbaute Schallschutzscheibenfläche.

Zweitens, weil die Experten zu den am meisten qualifizierten des Landes gehören.

Drittens, weil der geschätzte Trend mit den Archivdaten eines sehr großen SF₆-Lieferanten verglichen werden konnte.

Die Fehlerspanne bei einzelnen jährlichen Neuzugängen kann bis zu $\pm 25\%$ betragen, für den Gesamtrend ist sie sicherlich geringer und eher bei bis zu $\pm 10\%$ Abweichung anzusetzen.

Die Zeiträume 1995 bis 2002 sind demgegenüber deutlich besser abgesichert, da sie auf realen Verkaufsdaten des Gasehandels gründen. Dies ist bereits an anderer Stelle ausgeführt (vgl. Teil I, Abschnitt 4).

4. Lebensdauer der Scheiben

Eine weitere Quelle der Unsicherheit betrifft die Lebensdauer der Schallschutzscheiben und damit die Höhe der Entsorgungsemissionen. Hier muss wiederholt werden, dass die 25 Jahre Lebensdauer ein Durchschnittswert aus zahlreichen individuellen Werten zwischen 15 und über 30 Jahren sind, da außer der Verarbeitungsqualität (Abdichtung) die Unterschiede in der Exposition der Scheiben gegenüber Bewitterungs- und klimatischen Einflüssen eine große Rolle spielen.

16. Verhältnis zur IPCC-Methode

Aktivitätsdaten. IPCC GPG schlägt unter "3.5.2 Other sources of SF₆" für Sound-proof windows einen Top-down Ansatz vor, der sich auf die Daten über die Verkäufe der SF₆-Distributoren in diese Anwendung stützt. Dem entspricht das Vorgehen von ÖR, so weit dies für die Rekonstruktion der Daten für 1975 bis 1994 möglich war.

Dies gilt auch für die Bestimmung des Faktors der laufenden Emissionen. Für Bestandsemissionen wird die Gleichung 3.25 vorgeschlagen "Leakage Emissions in

year $t = 0.01 \times$ Existing Stock in the Window". Auch ÖR verwendet 0,01 als Emissionsfaktor.

Für Entsorgungsemissionen gilt die Gleichung 3.26 "Disposal Emissions = Amount Left in Window at End of Life $\times$ (1 – Recovery Factor)". Dies deckt sich mit dem Vorgehen von ÖR. Der Recovery Factor ist in Deutschland gleich Null, so dass die Entsorgungsverluste mit dem Gasbestand am Lebensende einer Scheibe gleichgesetzt werden können.

17. Eintrag in CRF II

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu SF₆ für Schallschutzscheiben primär eingetragen werden, ist Table 2(II)Fs2, Zeile 37. Jährlicher Bestand und jährliche Entsorgungsmenge kommen in die Spalten C und D, laufende Emissionen vom Bestand in Spalte I und die mit der Entsorgungsmenge in Spalte D identischen Entsorgungsemissionen erneut in Spalte J.

F-Gas-Blatt 30 Autoreifen

F-Gas	SF₆
Anwendung	Autoreifen
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 5	Entsorgungsemissionen

Hintergrund

Beginnend 1984 boten im Jahre 1995 rund 500 der insgesamt 3.500 inländischen Reifenhändler ihren Pkw-Kunden SF₆ statt Luft als Füllgas an. Das unter dem Namen "AirSafe" vom Reifenhersteller Continental AG entwickelte Verfahren versprach bessere Druckstabilität dank größerer Gasmoleküle. Pro Reifen werden 250 g benötigt, pro Fahrzeug 1 kg. Das SF₆ wurde in 40-kg-Flaschen angeliefert, und zwar bis 1996 teilweise direkt von der Continental AG, danach nur noch von Spezialgase-Händlern. Im Ausgangs- und zugleich Spitzenjahr 1995 wurden die je 200 Niederlassungen der Vergölst-Gruppe und des Stinnes-Reifendienstes beliefert, sowie 100 weitere freie Reifenhändler.

Die Emissionen sind im wesentlichen Entsorgungsverluste. Sie folgen der Befüllung im Abstand von ca. 3 Jahren. Bei einer mittleren jährlichen Pkw-Fahrleistung von 15.000 km und einer mittleren Reifenlaufzeit von knapp 50.000 km steht ein Reifenwechsel alle drei Jahre an. Bei der Demontage entweicht das verbliebene Gas vollständig in die Umgebung. Auffangen des Gases kommt nicht vor.

Neuverbrauch von SF₆ und Entsorgungsemissionen

1. Aktivitätsdaten. Neuverbrauch, Bestand und Entsorgungsmenge

1.a Der jährliche Neuverbrauch zur Befüllung

Der jährliche inländische SF₆-Neuverbrauch zur Befüllung (C_{manu}) von Autoreifen ist in Tab.1 in der ersten Spalte seit 1992 eingetragen.

1.b Der SF₆-Bestand in Autoreifen

Methode: Da es quasi keinen Außenhandel mit befüllten Reifen gibt, ist der jährliche SF₆-Neuzugang ins Inland im Prinzip identisch mit dem inl. Verbrauch zur Befüllung abzgl. der bei der Befüllung entstehenden Verluste ($\text{In}_{\text{bank}} = C_{\text{manu}} - \text{Em}_{\text{manu}}$). Die Befüllverluste sind ihrerseits sehr gering und werden nachfolgend vereinfachend gleich Null gesetzt. Dann besteht kein Unterschied zwischen effektiv eingefüllter Menge (In_{bank}) und Neuverbrauch für die Befüllung (C_{manu}).

Der SF₆-Bestand (EB) in Autoreifen erhöht sich zum Ende des laufenden Jahres n gegenüber dem Vorjahres-Endbestand ($\text{EB } n-1$) um den Neuverbrauch des aktuellen Jahres n (C_{manu} oder In_{bank}). Zugleich vermindert er sich um die im gleichen Jahr zu entsorgende SF₆-Menge ($\text{De}_{\text{bank } n}$) in demontierten Reifen. Es gilt Gleichung 1.

Gleichung 1:	$\text{EB } n = \text{EB } n-1 + \text{In}_{\text{bank } n} - \text{De}_{\text{bank } n}$
--------------	---

Die Menge zur Entsorgung ($\text{De}_{\text{bank } n}$) löst sich auf in den Neuzugang (In_{bank}) aus dem um die Lebensdauer zurückliegenden Fülljahr ($n - \text{LD}$). Bei der Lebensdauer von 3 Jahren ist die Entsorgung im laufenden Jahr identisch mit dem Neuzugang drei Jahre zuvor ($\text{In}_{\text{bank } n-3}$). Als Gleichung (2):

Gleichung 2:	$\text{EB } n = \text{EB } n-1 + \text{In}_{\text{bank } n} - \text{In}_{\text{bank } n-3}$
--------------	---

Bedingung für die Gleichsetzung der Entsorgung ($\text{De}_{\text{bank } n}$) mit der drei Jahre zuvor erfolgten Befüllung ($\text{In}_{\text{bank } n-3}$) ist, dass in der Zwischenzeit die ursprünglich eingefüllte Gasmenge gleich geblieben ist. Dies ist streng genommen nicht möglich, allerdings wird diese Vereinfachung gemacht. Obwohl aus den befüllten Autoreifen zwischen Zeitpunkt von Befüllung und Demontage (Bestandszeit) laufend gewisse Gasmengen emittieren, wird auf ihre Ermittlung (Em_{op}) verzichtet. Denn über das vor dem Reifenwechsel durch Permeation oder mechanische Reifenverletzung entwichene Gas gibt es keinerlei Schätzungen. ÖR ordnet dem Entsorgungs-Verlust sämtliche Emissionen zu und erfasst so implizit die lfd. Emissionen aus dem Bestand mit.⁶

1.c Die Entsorgungsmenge aus Autoreifen

Unter 1.b wurde erörtert und in Gleichungen dargestellt, dass jährlich zur Entsorgung die - unveränderte - Menge des SF₆-Neuzugangs von drei Jahren vorher ansteht. Die

⁶ Sicherlich kommen auch Nachfüllungen von SF₆ während der Nutzungsdauer vor. Sie können nicht separat ausgewiesen werden. Implizit sind sie im jährlichen Neuverbrauch zur Befüllung enthalten.

Entsorgungsmenge ($De_{bank\ n}$) folgt mit zeitlicher Verzögerung von 3 Jahren der Befüllmenge $In_{bank\ n-3}$ ($\sim C_{manu\ n-3}$). Als Gleichung (3):

Gleichung 3:	$De_{bank\ n} = In_{bank\ n-3}$
--------------	---------------------------------

In Tab. 1 sind alle Aktivitätsdaten zusammengestellt: 1. Jährliche Neuzugänge, 2. jährliche Entsorgungsmengen (identisch mit den drei Jahre vorher erfolgten Neuzugängen) und 3. die Bestände von SF₆ in Autoreifen zum jeweiligen Jahresende. Die Bestände dienen nur illustrativen Zwecken, da keine lfd. Emissionen ermittelt werden. (Hierzu wären ohnehin noch die mittleren Bestände auszurechnen.)

Tab. 1: Neuzugänge, Entsorgungsmenge und Bestand zum Jahresende von SF ₆ in Autoreifen im Inland nach Jahren in t/a			
	Neuzugang	Entsorgung	Bestand (Jahresende)
Formel:	$In_{bank\ n}$	$De_{bank\ n} = In_{bank\ n-3}$	$EB\ n-1 + In_{bank\ n} - In_{bank\ n-3}$
1992	110	n.e.	n.e.
1993	115	n.e.	n.e.
1994	120	n.e.	n.e.
1995	125	110	360
1996	67	115	312
1997	50	120	242
1998	30	125	147
1999	9	67	89
2000	6	50	45
2001	4	30	19
2002	2,7	9	12,7

Erläuterung: n.e. = nicht ermittelt.

Kommentar

Bis 1995 gab es einen stetigen Anstieg der Befüllungen, und daher bis 1998 der Entsorgungsmengen. Der Rückzug von Continental aus der eigenen "AirSafe"-Vermarktung in 1996, u.a. als Reaktion auf ökologische Kritik, führte binnen Jahresfrist zu einer Halbierung des Absatzes, zumal gleichzeitig viele Reifenhändler gewöhnlichen Stickstoff als "umweltfreundliches" Reifengas als Ersatz anboten. Bis 2002 hat sich die Nachfrage nach SF₆ für Autoreifen auf 2 % des Spitzenjahres 1995 reduziert. Wegen möglicher politischer Maßnahmen (Verbot) ist mit einem baldigen Ende dieser SF₆-Anwendung zu rechnen.

2. Ermittlung und Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

Der Neuverbrauch zur Befüllung wird durch Abfragen der Inlandsabsätze der Gas-Lieferanten an Reifenhändler und sonstige Kfz-Werkstätten ermittelt.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Mitteilungen

Continental AG, Hannover, 27.03.96.

Messer Griesheim GmbH, Krefeld, 22.04.96, Mitt an das UBA 17.03.99, Mitt an ÖR 29.07.99, 10.06.02; 22.09.03.

Chemogas GmbH, Bochum, 21.5.1996, Mitt an das UBA 22.3.99. Chemogas nun zu Linde gehörig: Linde AG, Höllriegelskreuth, 29.07.99.

Air Products GmbH, Hattingen, 29.05.96, 16.08.99, 04.06.02; 22.09.03.

Linde AG, Höllriegelskreuth, 29.04.96, Mitt an das UBA 15.03.99, Mitt an ÖR 29.07.99, 17.06.02. 17.09.03.

Schriftliche Quellen zum Verfahren

Continental AG: Conti/AIRSAFE-Informationsblatt o.J.

Continental AG, Hannover, Schreiben an ÖR, 21.10.96.

3. Die Emissionsrate bei der Entsorgung

Eine Rückgewinnung bei der Entsorgung findet nicht. Darum entweichen beim Reifenwechsel 100% des drei Jahre vorher eingefüllten SF₆ in die Atmosphäre. Die Emissionsrate der Entsorgung (EF_{disp}) beträgt daher 100%.

Die Emissionen des Jahres n werden vollständig mit der Befüllung des Jahres n-3 gleichgesetzt. Dies gilt unter der Bedingung, dass laufende Emissionen (sowie Nachfüllungen) während der Nutzungsdauer der Reifen nicht berücksichtigt werden.

4. Informationsquellen zur Emissionsrate

Dass bei der Demontage der Gasinhalt des Reifens ungehindert emittiert, ist unbestritten. Erstmals wurde der Sachverhalt von der Continental AG 1996 mitgeteilt.

Continental AG, Hannover, 07.10.96.

5. Die SF₆-Emissionen aus Autoreifen seit 1995

Bei gegebener Entsorgungsmenge und der Emissionsrate (EF_{disp}) 100% sind die Emissionen identisch mit den Entsorgungsmengen selbst (lt. Tab. 1, Spalte 2). Der besseren Übersicht wegen werden beide – identischen - Zeitreihen in Tab. 2 eingetragen.

Tab. 2: Emissionen von SF ₆ bei der Demontage von Autoreifen in t/a		
	Entsorgung	Emissionen
1995	110	110
1996	115	115
1997	120	120
1998	125	125
1999	67	67
2000	50	50
2001	30	30
2002	9	9

Quelle: Tab. 1, linke Spalte.

6. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle

Die Aktivitätsdaten sind wie alle kommerziellen Verkaufsdaten als verlässlich und nahezu vollständig zu bewerten, insbesondere angesichts der überschaubaren Anzahl von Lieferunternehmen des Gasehandels.

Gegenprobe zur Datensicherheit. Im Mai 1996 wurde von ÖR eine Gegenprobe der Lieferungen des größten einzelnen Gas-Lieferanten von SF₆ für Reifen vorgenommen. Dieses Unternehmen hatte für 1995 angegeben, 40 t SF₆ geliefert zu haben, und zwar nur an die Niederlassungen von Stinnes Reifendienst. Dessen Einkaufsleiter in Kaiserslautern, Herr Schreiber, gab am 22.5.96 an, von jenem Händler ca. 1.000 Flaschen à 40 kg bezogen zu haben (außerdem 200 weitere Flaschen von einem anderen Händler.) Die 40 t Lieferung wurden somit vollauf bestätigt. Diese Deckung zwischen Lieferanten- und Kundenangaben ist in ihrer Exaktheit sicher ungewöhnlich. Auch eine geringere Übereinstimmung hätte zur Bestätigung hoher Datensicherheit genügt.

Der Emissionszeitpunkt "drei Jahre nach Befüllung" wurde nicht kontrolliert. Er klingt plausibel, da er auf empirischen Daten über die durchschnittliche Lebensdauer von Autoreifen beruht. Gewiss treten gewisse vorzeitige Verluste von SF₆ auf, und der Mittelwert der Lebensdauer SF₆-befüllter Reifens mag von 3 Jahren nach oben oder unten abweichen. Entscheidend ist, dass der Emissionsfaktor selber 100% ist, da letztlich alle Befüllung nach bestimmter Zeit unvermindert in die Atmosphäre gelangt.

7. Verhältnis zur IPCC-Methode

Aktivitätsdaten: IPCC GPG schlägt unter "3.5.2 Other sources of SF₆" für Anwendungen, die die adiabatische Eigenschaft von SF₆ nutzen (Autoreifen, Schuhsohlen) einen Top-down Ansatz vor, der sich auf die Verkaufsdaten der SF₆-Distributoren in die diversen Anwendungen stützt. Dem entspricht die Vorgehensweise von ÖR.

Dies gilt auch für den Emissionsfaktor, wo sich IPCC in Gleichung 3.23 die Erfahrung aus Deutschland (Schwarz et al., 1996) zu eigen gemacht hat:

Equation 3.23:	Emissions in year t = Sales in year t –3
----------------	--

8. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu SF₆ in Autoreifen primär eingetragen werden, ist Table 2(II)Fs2, Zeile 39, Spalten D (Entsorgungsmenge) und J (Emissions from Disposal). Der Neuverbrauch wird in Spalte B eingetragen und der angehäuften (dreijährige) Bestand in Spalte C. Die Spalte Emission from manufacturing bleibt aber ebenso leer wie die Spalte Emissions from stocks, da beide Werte nicht ermittelt werden.

9. Bemerkung zur Größenordnung der Befüllemmissionen

Bei vollständiger Nutzung einer 40-kg-Flasche muss etwa 160-mal das Befüllorgan vom Ventil entfernt werden, wobei zwangsläufig Gas entweicht. ÖR schätzt die Verluste auf 0,2% oder 80 g pro Flasche (0,5 g pro Befüllung eines Reifens). Streng genommen füllen die Reifenhändler wegen der Befüllverluste im Anwendungsjahr von ihrer

gekauften SF₆-Menge nur 99,8% in die Reifen. Im Sinne einer Vereinfachung wird der Neuverbrauch (C_{manu}) von ÖR aber nicht in Befüllverlust ($Em_{\text{manu}} = 0,2\%$) und effektive Befüllung ($In_{\text{bank}} = 99,8\%$) aufgeteilt. Dieser Mangel an Exaktheit wird in Kauf genommen, zumal der Befüllverlust nicht unregistriert bleibt, sondern 3 Jahre später beim Entsorgungsverlust (De_{bank}) mitgezählt wird.

F-Gas-Blatt 31 Magnesium-Guss

F-Gas	SF₆
Anwendung	Magnesium-Guss
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 2	Offene Anwendung (direkt)

Hintergrund

Beim Gießen von Magnesium wird häufig SF₆ als Schutzgas über der Schmelze eingesetzt, um ihre Oxidation und Entzündung zu verhindern. Es wird in Konzentrationen bis 1 Vol.-% im Gemisch mit Trägergasen wie trockener Luft oder CO₂ über der Oberfläche des über 650°C flüssigen Metalls verteilt, das sich sonst bei Temperaturen über 500°C entzündet. Das zudosierte SF₆ wird nur minimal chemisch umgesetzt, so dass Verbrauch und Emission gleichgesetzt werden kann.⁷ Diese Auffassung wird zwar nicht von allen Experten geteilt, von denen einige auf eine nennenswerte Zersetzung des Schutzgases über der heißen Schmelze hinweisen. Den Leitlinien des IPCC von 2000 entsprechend wird die Gleichsetzung von Verbrauch und Emission hier jedoch weiterhin verwendet.

Das seit Mitte der 70er Jahre eingesetzte SF₆ trat in Konkurrenz zu SO₂, das in Konzentrationen von 0,5-1,5% über der Schmelze zu einem Schutzfilm aus MgSO₄ führt und so die Schmelze schützt. Da SF₆ einfacher als das stark toxische SO₂ zu handhaben ist, setzte es sich in mehreren neuen Gießereien durch. Im Jahr 2002 nutzten es 13 von rund 20 inländischen Magnesiumgießereien.

Schutzgas wird in Deutschland nur bei der Verarbeitung von Magnesium eingesetzt, das in Barren importiert wurde. Beim Vergießen frisch gewonnenen Metalls in diese Barren wird in den Erzeugerländern ebenfalls Schutzgas benutzt, und zwar mehr als in deutschen Gießereien. Nachfolgend wird das im Ausland bei der Primärproduktion eingesetzte SF₆ nicht mitberücksichtigt, sondern nur der SF₆-Einsatz im Inland.

⁷ "In der Magnesiumindustrie gilt, daß alles SF₆, das in der Produktion eingesetzt wird, in die Atmosphäre emittiert." (Gjestland/Westengen/Magers 1996, 2)

Inländischer SF₆-Neuverbrauch mit Totalemission

1. Aktivitätsdaten (Inlandsverbrauch) und Anwendungsemissionen

Die Nutzung von SF₆ als Schutzgas ist eine offene Anwendung. Zudosiertes Gas emittiert dabei, nach Auffassung des IPCC, vollständig in die Atmosphäre. Das bedeutet, dass der Neuverbrauch zur inländischen Anwendung (C_{manu}) und die Emissionen aus dieser Anwendung (Em_{manu}) größengleich sind, oder anders formuliert: Der Emissionsfaktor der Anwendung beträgt 100% auf den Neuverbrauch.

Tab. 1 zeigt in der zweiten Spalte den jährlichen Neuverbrauch im Inland (C_{manu}) bzw. die Anwendungs-Emissionen (Em_{manu}) von SF₆ von 1995 bis 2002 (t/a). Die rechte Spalte (Metallproduktion) enthält als Zusatzinformation die Menge fertiger Magnesiumteile in t, bei deren Erzeugung SF₆ eingesetzt wurde.

Tab. 1: Neuverbrauch/Emissionen von SF ₆ als Schutzgas in Magnesiumgießereien		
	SF ₆ in t/a	Metallproduktion in t (mit SF ₆)
1995	7,75	2.024
1996	8,14	6.006
1997	8,20	7.083
1998	9,21	9.240
1999	8,64	10.489
2000	13,22	13.109
2001	17,27	17.723
2002	16,01	20.000

Kommentar

Hinter den Zahlen, die eine Verdoppelung des jährlichen SF₆-Neuverbrauchs seit 1995 aufweisen, verbergen sich zwei gegenläufige Tendenzen: Einerseits Umstellungen von SF₆ auf SO₂ in älteren Gießereien (eine weitere stellte Ende 2002 auf HFKW-134a um) und andererseits Neugründung und Expansion neuerer Gießereien (Schwerpunkt Autoindustrie) mit SF₆. Drei Gießereien, die 1995 über die Hälfte (4 t) des SF₆ eingesetzt hatten, nehmen mittlerweile SO₂. Seit 1995 sind aber fünf neue Gießereien dazugekommen, die in 2002 über 9 t SF₆ einsetzten.

Die Metallproduktion zeigt, soweit bei ihr SF₆ eingesetzt wurde, dass sich die Menge in Tonnen seit 1995 nicht wie der SF₆-Einsatz nur verdoppelt, sondern verzehnfacht hat.

Der Bezug des SF₆-Einsatzes auf die Metallproduktion pro Jahr illustriert, dass sich der spezifische SF₆-Koeffizient, nämlich "kg SF₆/t Mg" seit 1995 auf etwa ein Fünftel reduziert hat: von 3,5 kg SF₆/t Mg auf etwa 0,75 kg SF₆/t Mg.

2. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen

Seit 1996 hat ÖR vier Mal insgesamt 18 inländische Magnesiumgießereien nach ihrem jährlichen SF₆-Verbrauch direkt befragt. Diese Betriebe repräsentierten jeweils 100% des Verbrauchs. Ihre Einsatzmengen schwanken von 40 kg/a (1 Flasche) bis über 7.000 kg/a. Die Metallproduktion wurde nur bis 1999 bei den Betrieben mit erhoben, seit 2000 wird sie auf Basis der Statistik des Gesamtverbands Deutscher Metallgießereien

(GDM) über die Magnesium-Druckguss-Produktion von ÖR geschätzt. Die GDM-Daten unterscheiden allerdings die Metallproduktion nicht nach Schutzgasen.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Laukötter GmbH & Co. KG, Wadersloh, seit Anfang 1996 SO₂., 07.10.96.
 Zitzmann Druckguß GmbH, Stockheim, seit Mitte 1998 SO₂. 08.03.99.
 Alcan-Bayerisches Druckguss-Werk GmbH & Co. KG, Markt Schwaben. Bis 2001 in D (in 2001 Verlagerung nach Slowenien, 08.09.03, 07.10.96, 29.09.02
 Albert Handtmann Metallgusswerk GmbH & Co. KG, Biberach. Seit 2002 SO₂., 08.09.03, 10.10.96, 08.09.03.
 Metallgießerei W. F. Poppe & Sohn KG GmbH & Co., Kiel. In 2001 geschlossen. 19.03.99.
 Schweizer & Weichand GmbH, Murrhardt, 2002/03 Umstellung auf 134a. 15.10.96; 19.03.99, 08.09.03.
 Honsel-Alumetall GmbH, Nürnberg, 15.10.96, 03.09.02, 08.09.03.
 Dietz-Metall GmbH & Co. KG, Unterensingen, 11.10.96, 15.03.99, 10.09.03.
 Druckguss Berlin Weißensee, Berlin. Seit Insolvenz ab 2001 weitergeführt unter AMZ-Weißensee Präzisionsguss, 15.10.96, 23.03.99, 10.09.03.
 Metallgießerei Wilhelm Funke, Alfeld (Leine), 23.08.02 u. 10.09.03.
 W. Schenk Leichtgußwerke, Maulbronn. Seit Insolvenz ab 2002 weitergeführt unter Metallwerke Kloß Maulbronn GmbH, gleiche Anschrift. 16.10.96, 09.09.03, 09.09.03).
 Kolbenschmidt-Pierburg AG, Nettetal, 29.08.02, 09.09.03, 15.10.96, 22.03.99, 02.09.02, 16.09.03.
 Volkswagen AG, Werk Kassel, Baunatal, Mg-Guss seit 1996. 3.12.96, 25.03.99, 16.09.03.
 TRW Automotive GmbH, Aschaffenburg, Mg-Guss seit 1997. 02.09.02, 09.09.03.
 Dynacast Deutschland GmbH, Bräunlingen, Mg-Guss seit 2000. 29.08.02, 11.09.03).
 Druckguss Heidenau GmbH, Dohna, Mg-Guss seit 2001. 03.09.02, 09.09.03).
 HDO-Durckguss- und Oberflächentechnik GmbH, Paderborn, Mg-Guss seit 2001. 18.06.02, 12.09.03.

Schriftliche Quellen

Gesamtverband Deutscher Metallgießereien (GDM), Bericht über das Geschäftsjahr 2000, Düsseldorf 2001. Daten für 2001 und 2002: <http://www.gdm-metallguss.de/>

3. Emissionsraten und Informationsquellen

Der IPCC-Auffassung folgend, dass alles eingesetzte Gas emittiert (siehe Gleichung 3.12 in GPG), besteht keine Notwendigkeit, zusätzlich zu den Verbrauchsdaten noch Emissionsfaktoren zu bestimmen. Wie aus der Veröffentlichung von Carli u. a. 1997 hervorgeht, zersetzt sich entgegen der vom IPCC getragenen Ansicht vieler Experten ein Teil des eingesetzten SF₆. Gleicher Ansicht sind auch andere Experten, wie etwa Bartos u. a. (2003). Da diese Debatte noch nicht abgeschlossen ist, bleibt vorläufig weiterhin die Position des IPCC vom Jahre 2000 maßgeblich.

Informationsquellen

Carli, Stefan; Martin, Andreas; Kluge, Steffen (1997): SF₆-Emissions from magnesium die casting. In: Proceedings of the First Israeli Conference on Magnesium Science & Technology, 10.-12. November 1997, Dead Sea, Israel.
 Bartos u. a. (2003): Measured SF₆ emissions from magnesium die casting operations. Vortrag auf dem 132nd TMS Annual Meeting, 2. bis 6. März 2003, San Diego, Kalifornien.

4. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle

Aktivitätsdaten. Die Methode der direkten Befragung nach den SF₆-Einkaufsmengen pro Kalenderjahr ist die sicherste Ermittlung überhaupt, verglichen etwa mit indirekten Methoden der Schätzung mittels Emissionsfaktoren wie etwa durch den Koeffizienten SF₆-Verbrauch in kg pro Tonne Magnesiumguss. Fehlerhafte Auskünfte sind allerdings nicht auszuschließen.

Die Datenunsicherheit bei der Direktbefragung wird von IPCC GPG auf weniger als $\pm 5\%$ geschätzt.

Die Metallproduktion (mit Hilfe von SF₆) ist eine Zusatzinformation, der im Rahmen der Ermittlungsmethode mehr illustrativer Wert zukommt. Ihre Datensicherheit ist eher zweitrangig.

Emissionsfaktoren. Bezüglich eventuell doch notwendiger Emissionsfaktoren $< 100\%$ besteht eine gewisse Datenunsicherheit, die durch Unkenntnis der genauen Zersetzungsrates des Gases über der Schmelze bedingt ist. Sofern sich unter den Experten die Auffassung einer nennenswerten Teilzersetzung durchsetzt und allgemeine oder spezifische Emissionsfaktoren zur Verfügung stehen, werden diese für eine Rekalkulation der Emissionen eingesetzt.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode

"SF₆ Emissions from Magnesium Production" werden in IPCC GPG unter "3.4" behandelt. ÖR folgt der Methode, die im Decision Tree in Box 4 formuliert wird: "Estimate emissions using the direct reporting method". Da alle Betriebe direkt ihren SF₆-Verbrauch melden, ist es nicht nötig, zusätzlich die Metallproduktion zu erheben.

In Bezug auf Emissionsfaktoren, die eine teilweise Zersetzung des verbrauchten Gases ausdrücken, wird hier dem IPCC gefolgt, dass die Zersetzung bedeutungslos und die Ermittlung von Emissionsfaktoren hinfällig ist. Hierzu ist der weitere Gang der internationalen Debatte zu berücksichtigen.

6. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "SF₆ Emissions from Magnesium Foundries" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).C.E, Reihe13, Spalte E.

Zusätzlich wird in Spalte C die Mg-Produktion in t eingetragen, so dass sich aus dem Bezug der Spalte E zu C ein implied Emission factor in kg/t ergeben könnte, wäre der Fehler im CRF korrigiert, für den SF₆-Verbrauch eine Angabe in Tonnen statt in kg zu verlangen. SF₆ müsste in Spalte E in kg eingegeben werden, damit sich der EF ergibt.

ÖR trägt in CRF nur die Metallproduktion ein, die mit Hilfe von SF₆ produziert wurde, nicht die Gesamtmenge, die ja auch die Teilmenge (etwa 20-25%) enthält, die mit anderen Gasen oder mit Salzen geschützt wird. Diese Zahl ist eine Schätzziffer, weil sie nirgends veröffentlicht wird und von ÖR seit 2000 nicht mehr von den Betrieben erfragt wird.

In der Tat hält ÖR den Bezug des SF₆-Verbrauchs auf das produzierte Metallgewicht fertiger Teile für wenig aussagekräftig, weil das Schutzgas die gesamte Mg-Schmelze abdeckt, nicht nur die ca. 50% (Durchschnittswert), die verkaufsfähige Teile werden. Auch Angussstücke, Ausschuss, Krätze, Teile zur Wiederverwendung usw. bestimmen den SF₆-Verbrauch, und zwar umso mehr, je komplizierter die Teilegeometrie wird.

F-Gas-Blatt 32 Spurengas

F-Gas	SF₆
Anwendung	Spurengas (Tracergas)
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 2	Offene Anwendung (direkt)

Hintergrund

Als stabiles und auch in extrem geringer Konzentration sehr gut nachweisbares Spurengas wird SF₆ für die Untersuchung bodennaher und atmosphärischer Luftströmungen und Gasausbreitungen eingesetzt. Experten schätzen die Verwendung für Stadtklima- und Standort-Untersuchungen (Kaltluftausbreitung, Frischluftschneisen, Deponieanlagen, Kläranlagenbau usw.) auf max. 100 kg/Jahr.

Im Forschungsbereich (Großforschungseinrichtungen) werden pro Jahr 250 - 400 kg eingesetzt.

In Labors muss es bislang aufgrund einer DIN-Norm zur Prüfung von Abzügen eingesetzt werden.

Einsatzmenge und Emissionen sind identisch, da keine Rückgewinnung stattfindet.

Inländischer SF₆-Einsatz (Verbrauch) mit Totalemission

1. Aktivitätsdaten (Inlandseinsatz) und Emissionen

Die von ÖR praktizierte Datenermittlung betrachtet den SF₆-Einsatz als Spurengas als offene Anwendung. Demzufolge macht es keinen Sinn, einen inländischen Bestand (B) mit dazugehörigen laufenden Emissionen (Em_{op}) zu bestimmen. Der jährliche Neueinsatz wird als Verbrauch zur Fertigung/Anwendung (manufacturing) begriffen, und dieser emittiert vollständig im selben Jahr. Der Emissionsfaktor der Emissionen (EF_{manu}) beträgt 100% auf jenen SF₆-Neuverbrauch (C_{manu} = Em_{manu}).

Einsatzmengen (C_{manu}) bzw. Emissionen (Em_{manu}) von SF₆ waren 1995 bis 2002 wie in Tab. 1 dargestellt (t/a):

Tab. 1: SF ₆ -Einsatz/Emissionen als Tracergas in t/a	
1995	0,5
1996	0,5
1997	0,5
1998	0,5
1999	0,5
2000	0,5
2001	0,5
2002	0,5

Kommentar

Die Einsatz- bzw. Emissionsmenge beträgt konstant 500 kg/a. Änderungen sind bisher nicht in Sicht.

2. Ermittlung der Aktivitätsdaten/Emissionen und Informationsquellen

Es gibt keine amtliche oder sonst verbindlich geführte Statistik über den SF₆-Einsatz als Tracergas. Daher wurden Experten befragt. Im Jahr 1996 wurden die sechs wichtigsten deutschen Forschungseinrichtungen, die für die Durchführung von Tracergas-Untersuchungen in Frage kamen, sowohl nach ihren eigenen Verwendungsmengen befragt als auch um eine Abschätzung für den inländischen Gesamteinsatz gebeten. Das Ergebnis war recht einheitlich "seit 1990 konstant 400-500 kg/a" gewesen. Das FZ Jülich, das etwa 50% der Gesamtmenge benutzt, wurde 2003 erneut um eine Schätzung der inländischen Gesamteinsatzmenge gebeten – mit dem Resultat, dass sich seit 1996 nichts an den Mengen geändert habe. (1999 war das Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, um eine Schätzung befragt worden, die ebenfalls bei 500 kg/a lag.

Persönliche Mitteilungen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

FZ Jülich, Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz, 20.6.1996, 24.09.03.

Zentrum für Umweltforschung der Universität Frankfurt, 20.6.1996.

Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, 21.6.1996, 02.08.99.

TÜV Südwest, Stuttgart, 21.6.1996.

Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 19.6.1996.

Universität Gießen, Geographisches Institut, 19.6.1996

Schriftliche Quellen

Zenger, A., Rühling, A., Bächlin, W., Lohmeyer, A.: Tracergasuntersuchungen zur naturgetreuen Simulation von atmosphärischen Transport- und Mischungsvorgängen im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen, in: Staub - Reinhaltung der Luft 54 (1994), 51-54.

3. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle

Aktivitätsdaten/Emissionen. Aufgrund der hohen Übereinstimmung der – nach Auffassung von ÖR – wichtigsten nationalen Experten über die inländische Einsatzmenge und ihre Konstanz seit 1990 ist die Datensicherheit sehr hoch für die Jahre vor 1996. Für die Zeit danach wurde im Abstand von 3 Jahren nur jeweils ein Experte befragt, der allerdings jeweils die 1996 erfassten Werte bestätigte.

Dennoch sollten künftig im Abstand von 3 bis 4 Jahren mehrere Experten nach der gesamten Einsatzmenge im Inland befragt werden, wobei dem FZ Jülich eine Schlüsselrolle zukommen sollte.

4. Verhältnis zur IPCC-Methode

In IPCC GPG wird unter "3.5.2 Other sources of SF₆" angesprochen "Gas-air tracer in research and leak detectors". Als "good practice" wird empfohlen, von den jährlichen Verkäufen in diese Anwendung auszugehen und die Emissionen des Jahres n als Summe der halben Verkäufe im Jahr n und der halben Verkäufe im Jahr n-1 zu bestimmen. Da in Deutschland nicht die Verkaufsmengen des Gasehandels erfragt wurden, sondern die Einsatzmengen über Expertenurteile ermittelt werden, die außerdem keine jährlichen Unterschiede der Anwendungsmengen zeitigten, kommen bei der Berechnungsweise von ÖR keine anderen Emissionen zustande als bei der IPCC-GPG-Empfehlung.

5. Eintrag in CRF

Der Neuverbrauch für die offene Anwendung wird bei "amount of fluid filled in new manufactured products" eingetragen, weil sich die Alternative "amount of fluid in operating systems (average annual stocks)" begrifflich noch weniger mit der technischen Einsatzweise deckt.

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emissions from manufacturing" für SF₆ als Tracergas primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs2, Reihe 43, Spalten B und H.

F-Gas-Blatt 33 Aluminium-Reinigung

F-Gas	SF₆
Anwendung	Aluminium-Reinigung
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 2	Offene Anwendung (direkt)

Hintergrund

Zur Entfernung (Entgasung) von Wasserstoff sowie von Alkali- und Erdalkalimetallen und Feststoffen werden in Aluminiumschmelzen vor dem Gießen die Inertgase Stickstoff und/oder Argon eingeleitet, um bei den Gussteilen Porosität zu verhindern. Zur Reinigung von Primärschmelzen werden hingegen Halogene (Chlor, Fluor etc.) eingebracht. Es genügen zum Spülen von Sekundäraluminium-Schmelzen in der Regel Inertgase ohne Additive. In einigen wenigen, meist kleineren, Sekundäraluminium-Gießereien sowie in Labors kam bis 1999 ein Reinigungssystem aus Inertgasen zum Einsatz, denen SF₆ in Konzentrationen von 1 oder 3,5 % zugesetzt war.

Eine Überprüfung des Marktes für SF₆ in der Aluminiumproduktion hat ergeben, dass diese Reinigungssysteme heute (2003) nicht mehr eingesetzt werden (kein Verkauf in Deutschland). Allerdings wird seit 1999 in Aluminiumschmelzen vereinzelt wieder reines SF₆ als Reinigungsgas eingesetzt, und zwar in erheblichen Mengen.

Inländischer SF₆-Neuverbrauch mit Totalemission

1. Aktivitätsdaten (Inlandsverbrauch) und Anwendungsemissionen

Die Nutzung von SF₆ als Reinigungsgas (Mischungsbestandteil oder pur) ist eine offene Anwendung. Zudosiertes Gas emittiert (nach bisherigem Kenntnisstand) vollständig in die Atmosphäre. Das bedeutet, dass der Neuverbrauch zur inländischen Anwendung (C_{manu}) und die Emissionen aus dieser Anwendung (Em_{manu}) größengleich sind, oder anders formuliert: Der Emissionsfaktor der Anwendung beträgt 100% auf den Neuverbrauch.

Tab. 1 zeigt den jährlichen Neuverbrauch im Inland (C_{manu}) bzw. die Anwendungsemissionen (Em_{manu}) von SF₆ von 1995 bis 2002 (t/a). (Die Menge fertiger Gussteile, bei deren Erzeugung SF₆ eingesetzt wurde, ist unbekannt.)

Tab. 1: Neuverbrauch/Emissionen von SF ₆ als Reinigungsgas in Aluminiumgießereien	
	SF ₆ in t/a
1995	0,5*
1996	0,5*
1997	0,5*
1998	0,5*
1999	10,5
2000	14,0
2001	32,0
2002	35,0

Quellen: Gasehandel und Anwender.

* Bis 1999 wurde SF₆ nur als Additiv zu Inertgasen eingesetzt, ab 1999 dagegen rein.

Kommentar

Bis einschließlich 1999 wurden jährlich konstant 500 kg SF₆ als Additiv zu den Inertgasen Argon oder Argon/Stickstoff eingesetzt. Dieses Verfahren wurde 1999 eingestellt. Gleichzeitig wurde - an anderer Stelle - mit dem Einsatz von purem SF₆ zur Schmelzenreinigung begonnen, so dass der SF₆-Verbrauch rapide anstieg. Seit 2003 wird allerdings anwenderseitig an einer anderen Lösung gearbeitet.

2. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen

Seit 1996 hat ÖR drei Mal die beiden Lieferanten von Inertgas-Systemen mit SF₆ als Additiv nach ihrem Absatz (nur SF₆-Gehalt) an inl. Aluminiumgießereien befragt. Für 1995 bis 1999 wurde ein konstanter niedriger Absatz gemeldet; die Vermarktung wurde 2000 eingestellt. Das seit 1999 rein eingesetzte SF₆ stellt anwenderseitige Einkäufe dar, die direkt erfragt und mit Daten des Gasehandels abgeglichen wurden.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

AGA Gas GmbH, Hamburg, ("Aluclean" 2,5% SF₆ in Argon), 09.10.96, 29.07.99.

Air Liquide GmbH, Düsseldorf, 27.5.02; 16.07.03.

Linde AG Gas & Engineering, GB Linde Gas, Höllriegelskreuth, 22.09.03.

Messer Griesheim GmbH, Krefeld, 10.06.02; 22.09.03.

Westfalen AG, Münster, ("Meltabron" 1% SF₆ in Stickstoff/Argon), 17.10. 96, 28.07.99; 22.09.03.

Gezielte Befragung einiger inländischer Aluminium-Gießereien, im Oktober 2003.

3. Emissionsfaktor und Informationsquellen

Die praktische Identität von Verbrauch und Emission von SF₆ bei der Aluminiumreinigung ist bislang unbestritten. Es wird nur eine minimale SF₆-Zersetzung und Reaktion mit der Schmelze angenommen. Das IPCC GPG lässt sich so interpretieren, dass diese Anwendung als "semi-prompt" emissiv eingestuft wird.

4. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle

Aktivitätsdaten. Da der Überblick über die inl. Absätze von SF₆ als Additiv zu Inertgasen komplett ist (was bei Befragung der beiden einzigen Lieferanten unterstellt werden kann), ist die Exaktheit der jährlichen Verbrauchsdaten hoch. Dies gilt auch nach 1999, für den Absatz von reinem SF₆. Es wurden alle Gasehändler befragt, die in der Belieferung von Aluminiumgießereien aktiv sind. Ihre Verkaufsmenge stimmt mit der entsprechenden Einkaufsmenge von Anwenderseite überein. Darum ist hohe Datensicherheit gegeben.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode

Die Aluminiumproduktion mit Hilfe von SF₆ wird in IPCC-GPG unter "3.5.2 Other sources of SF₆" angesprochen. Die Ausführungen dort lassen sich so verstehen, dass sie als semi-prompt source gilt, deren Emissionen nach "Equation 3.22" bestimmt werden sollten. Diese lautet:

$\text{Emissions in year } t = (0.5 \times \text{Amount Sold in year } t) + (0.5 \times \text{Amount Sold in year } t - 1).$
--

ÖR hält die bei Anwendung der Gleichung gegebene Verzögerung zwischen Einkauf und Anwendung von einem halben Jahr für zu hoch. Statt dessen wird der ganze Absatz/Einkauf noch im selben Jahr als Emission behandelt.

6. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu "SF₆ Emissions from Aluminium Foundries" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).C.E, Reihe12, Spalte E.

Die Spalte C zur Aluminiumproduktion in t bleibt leer, weil diese Menge nicht bekannt ist. Der aus dem Bezug der Spalte E zur Spalte C mögliche implied Emission factor hätte als rein rechnerische Größe ohnehin nur illustrativen Sinn. Eine Quantifizierung von Unsicherheiten dieses Emissionsfaktors wäre nicht zielführend.

F-Gas-Blatt 34 Flugzeug-Radar

F-Gas	SF₆
Anwendung	Flugzeugradar
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand

Hintergrund

SF₆ wird als Isolationsmedium in den 17 großen militärischen Aufklärungsflugzeugen der NAEWF (NATO Airborne Early Warning Force) vom Typ Boeing E-3A (AWACS) im Radarsystem eingesetzt. Es soll elektrische Überschläge in den sog. Hohlleitern zur Antenne hin verhindern, in denen hohe Spannungen über 135 kV herrschen. Alle übrigen inländischen Radarausrüstungen für Flugzeuge an Bord oder am Boden werden mit geringerer Spannung (bis zu 30 kV) betrieben, so dass kein SF₆ erforderlich ist, sondern Öl (Silikonöl) genügt. Bei der NAEWF-Ausrüstung handelt es sich im Grunde nicht um ein Bordradar, sondern um in Flugzeuge eingebaute Bodenradarstationen, die hohe Leistungen bringen müssen, aber wenig Platz beanspruchen dürfen.

Die laufenden Emissionen sind betriebsbedingt sehr hoch, da bei jedem Anstieg des Flugzeugs zum Druckausgleich SF₆ bewusst abgelassen wird, das beim Sinkflug immer wieder aus bordeigenen Vorratstanks nachgefüllt wird. Außer absichtlichen Emissionen gibt es auch noch unbeabsichtigte infolge von Leckagen.

Methodische Bemerkung

Die NAEWF ist zwar in Geilenkirchen im Nordwesten Deutschlands stationiert, die Flugzeuge fliegen aber über dem gesamten Luftraum der NATO-Mitgliedsländer. Normale Leckageverluste können daher nicht einem bestimmten Staat zugerechnet werden, auch nicht dem, auf dessen Territorium sie bei der Bodenwartung aufgefüllt werden (Deutschland).

Die absichtlichen SF₆-Abgaben zum Druckausgleich sind dagegen territorial zurechenbar. Denn sie erfolgen grundsätzlich beim Start und Anstiegsflug, mithin in Nähe eines Flugplatzes. Von den fünf NAEWF Flugplätzen ist Geilenkirchen der größte in Bezug auf Starts und Landungen (Main Operating Base). Die vier weiteren Flugplätze (Forward Operating Bases) in Italien, Norwegen, Griechenland und der Türkei sind jeweils kleiner. Daher werden die zum Druckausgleich durchgeführten SF₆-Emissionen nur zu einem bestimmten, hier nicht veröffentlichten Anteil, Deutschland zugerechnet.

SF₆-Neuzugang und laufende Bestands-Emissionen

Da beim Anstieg des Flugzeugs der Außendruck sinkt, würde der ohnehin starke Überdruck im Radarsystem zu hoch. Um ihn konstant zu halten, wird automatisch SF₆ abgelassen. Ebenso automatisch wird beim Sinkflug dem Radarsystem neues SF₆ aus einem Vorratsbehälter an Bord zugeführt. Dieser enthält voll rund 13 kg, d.h. etwa so viel, wie das ganze Radarsystem fasst. Nach der Landung wird der SF₆-Behälter ausgewechselt. Allein diese Druckausgleichsmanöver erfordern im Zeitraum eines Jahres pro Flugzeugradar etwa 600 kg Emissionsersatz.

Die SF₆-Füllung in einem NAEWF-Radarsystem ist mit 13 kg nicht sehr groß. Alle siebzehn Flugzeuge enthalten zusammen etwa 220 kg SF₆ an Bord. Rechnerisch beträgt der Emissionsfaktor für die 10 t SF₆-Verluste durch Druckausgleichsmanöver über 4500%. Der Emissionstyp ist daher nur mit Einschränkungen mit demjenigen von elektrischen Schaltanlagen zu vergleichen.

1. Zugang, Bestand und laufende Emissionen bei der ganzen NAEWF-Flotte

Außer den oben genannten absichtlichen Emissionen fallen im Betrieb auch unbeabsichtigte an. Tabelle 1 zeigt für ganze Kalenderjahre für die gesamte Flotte den SF₆-Zugang (Verbrauch zur Auffüllung absichtlicher und unbeabsichtigter Verluste), den Bestand sowie die absichtlichen und unabsichtlichen Emissionen (= Verbrauch).

Tab. 1: Zugang, Bestand und laufende Emissionen von SF ₆ beim Radarsystem der 17 NAEWF-AWACS-Flugzeuge 1995-2002 in t/a (Gesamtflotte)			
	Zugang (Durchschnitt)	Bestand	Lfd. Emission (Durchschnitt)
1995	12,5	0,221	12,5
1996	12,5	0,221	12,5
1997	12,5	0,221	12,5
1998	12,5	0,221	12,5
1999	12,5	0,221	12,5
2000	12,5	0,221	12,5
2001	12,5	0,221	12,5
2002	12,5	0,221	12,5

Quellen: Siehe Abschnitt 2.

Erläuterung und Kommentar

Für den Ausgleich von absichtlichen und unabsichtlichen Emissionen der gesamten NAEWF-Flotte (17 Radarsysteme) wurden im Durchschnitt jährlich rund 12,5 t SF₆ beschafft.⁸ (Dass die Lieferungen von dt. Gasehändlern kamen, ist in diesem Zusammenhang sekundär.)

- Davon wird über 1 t im Zuge der Bodenwartung bei einer Flugzeugfirma eingesetzt. Bis 1997 war dies Dornier in Oberpfaffenhofen, seitdem findet die Wartung in Manching statt, dem Standort der EADS (früher DASA).

⁸ Im Jahr 2003 (Irak-Krieg) stiegen die Einkaufsmengen um über 20% auf mehr als 14 t an.

- Davon wird über eine weitere Tonne in Geilenkirchen selbst zur Behebung von Leckagen während der Bodenwartung benötigt.

Zu diesen zwei bis drei Tonnen ist anzumerken, dass sie in Deutschland nur befüllt werden, während die Emissionen im gesamten Überwachungs-Luftraum entstehen.

- Von den übrigen jährlichen 10 t (8-12 t), die ebenfalls nach Geilenkirchen geliefert werden, wird ein bestimmter Teil (der in dieser Version des Berichts nicht quantifiziert wird) an die vier ausländischen Flugplätze weitergeleitet. Er wird dort für den Druckausgleich an Bord eingesetzt.

In Geilenkirchen verbleibt der größere Teil jener durchschnittlich 10 t, um die absichtlichen Emissionen der Radarsysteme infolge der Druckausgleichsmanöver zu kompensieren, die mit Flugeinsätzen über Deutschland verbunden sind.

Während Tabelle 1 den gesamten Verbrauch und die Emissionen der gesamten Flotte zeigt, ist für die deutsche F-Gas-Berichterstattung erstens nur der Verbrauch zum Ausgleich absichtlicher Emissionen relevant (10 von 12,5 t SF₆ jährlich) und zweitens davon wiederum nur derjenige Teil, der Flugeinsätzen über Deutschland zurechenbar ist. Dieser Anteil entspricht 10 t minus der Menge, die an ausländische Militärflugplätze weitergeleitet wird. Nur dieser Anteil wird in das deutsche CRF eingetragen (s.u.).

Zu beachten ist, dass jährliche Schwankungen nicht berücksichtigt sind, da sie nicht vollständig ermittelt werden konnten.

Von Experten wird der SF₆-Jahresbedarf für die NAEWF weiterhin als konstant eingeschätzt - ohne absehbare Zuwachs- oder Rückgangstendenzen in der Zukunft.

2. Ermittlung der Aktivitäts- und Emissionsdaten

Die Basisinformationen über den SF₆-Einsatz stammen sowohl von den Flugzeugfirmen Dornier und EADS als auch direkt von Radar-Spezialisten des Fliegerhorstes Geilenkirchen. Die jährlichen Einkaufsmengen wurden mit Angaben des Gasehandels abgeglichen. Die komplizierten Verwendungswege wurden durch Radarexperten in Geilenkirchen erklärt.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

NATO Fliegerhorst AWACS, Geilenkirchen, 24.09.03; 08.01.04.

Dornier Luftfahrt GmbH, Oberpfaffenhofen, 11.10.96.

Dasa (DaimlerChrysler Aerospace AG), Manching, 03.08.99.

EADS (European Aeronautic Defence and Space) Deutschland GmbH, Manching, 23.09.03.

Air Liquide GmbH, Düsseldorf, 16.07.03.

Linde AG Gas & Engineering, GB Linde Gas, Höllriegelskreuth, 22.09.03.

Messer Griesheim GmbH, Krefeld, 22.09.03.

<http://www.boeing.com/defense-space/infoelect/e3awacs/index4.htm>.

3. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle

Die Daten wurden im Jahre 2003 umfassend geprüft, wobei frühere Fehler korrigiert wurden. Da sie alle von einschlägigen Experten stammen, sind sie als sehr verlässlich zu betrachten. Die Gesamtmenge von 12,5 t für die NAEWF-Flotte mag jeweils um 1-2 t vom wirklichen Wert abweichen. Pro Flugzeug emittieren folglich rechnerisch jährlich (absichtlich plus unabsichtlich) etwa $740 \text{ kg} \pm 100 \text{ kg}$ ($= \pm 15\%$). In der Tabelle sind nur Durchschnittswerte angegeben. Dass der SF_6 -Bedarf über die Jahre (zumindest seit 1995) relativ konstant ist, wurde von allen befragten Experten behauptet.

4. Verhältnis zur IPCC-Methode

Im IPCC-GPG werden unter "3.5.2 Other sources of SF_6 " zwar "Military applications" angesprochen. Spezielle Ausführungen werden allerdings nicht gemacht, erst recht nicht zu den Besonderheiten von Flugzeugradar.

5. Eintrag in CRF

Inländischer Neuverbrauch, Bestand und Emissionen (entsprechend dem prozentualen deutschen Anteil an jenen 10 t SF_6) werden in Table 2(II).Fs2 in Reihe 41, Spalten B, C und I eingetragen – und zwar zusammen mit einer anderen Anwendung, deren inländische Daten der Vertraulichkeit unterliegen (Sportschuh-Sohlen).

6. Zur Frage der Vertraulichkeit (Militärische Anwendung)

Es wurde zwar von keinem befragten Experten, auch nicht vom Fliegerhorst Geilenkirchen, ausdrücklich auf militärische Geheimhaltung gedrungen.

Dennoch wird empfohlen, die Deutschland zuzurechnenden Daten mit anderen zusammen (aggregiert) zu berichten, um ev. Unstimmigkeiten von vorneherein zu vermeiden.

F-Gas-Blatt 35 Sportschuhsohlen

F-Gas	SF₆
Anwendung	Sportschuhsohlen
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 5	Entsorgungsemissionen

Hintergrund

Der weltgrößte Sportartikelhersteller brachte 1990 Sportschuhe mit SF₆-Gaskissen in den Sohlen ("Air"-System") auf den Markt. Die Kissen sind oft sichtbar in die Sohle integriert. Durch diese Technologie, die patentiert wurde, soll eine elastische Schockdämpfung für den Fuß erzielt werden. Die Anforderungen an das Kissenmaterial sind vielfältig: Gasrückhaltevermögen, Festigkeit, Elastizität, Transparenz, Schweißbarkeit, Verträglichkeit mit anderen Sohle-Werkstoffen – all dies bei akzeptablen Kosten. Die "Air"-Serie hat seit ihrem Höhepunkt in den neunziger Jahren einen bedeutenden Marktanteil am Schuhsortiment des Sportartikelherstellers gehalten.

Seit 1997 wurde SF₆ im Gaskissen schrittweise durch Stickstoff ersetzt. Ca. 20% der Anwendungen galten 2002 noch als unersetzbar.

Die meisten Patente für das Verfahren liefen 2003 aus, so dass es anderen Schuhherstellern grundsätzlich möglich wurde, das gleiche Verfahren anzuwenden.

Vor diesem Hintergrund hat der Sportartikelhersteller beschlossen, ab 2003 in neuen Schuhen kein SF₆ mehr einzusetzen, sondern bis 2006 für das "Air"-System Perfluorpropan (C₃F₈) zu nutzen und danach ganz auf Treibhausgase zu verzichten.

Sportschuhe mit SF₆ in der Sohle werden in Deutschland nicht hergestellt, allerdings in großem Umfang getragen.

Zugang von SF₆ und Entsorgungsemissionen

1. Aktivitätsdaten. Zugang, Bestand und Entsorgungsmenge

1.a Der jährliche Zugang von SF₆ in Sportschuhen

Der jährliche SF₆-Zugang (In_{bank}) in Sportschuhen ist in Tab.1 in der ersten Spalte seit 1992 eingetragen.

1.b Der SF₆-Bestand in Sportschuhen

Da alle SF₆-haltigen Sportschuhe importiert werden, entstehen keine inländischen Fertigungsemissionen (Em_{manu}). Der SF₆-Bestand (EB) in Sportschuhen erhöht sich zum Ende des laufenden Jahres n gegenüber dem Vorjahres-Endbestand (EB_{n-1}) um den Zugang im aktuellen Jahr (In_{bank}). Zugleich vermindert er sich um die im gleichen Jahr zu entsorgende SF₆-Menge ($De_{bank\ n}$) in alten Schuhen. Es gilt Gleichung 1.

Gleichung 1:	$EB\ n = EB\ n-1 + In_{bank\ n} - De_{bank\ n}$
--------------	---

Die Menge zur Entsorgung ($De_{bank\ n}$) löst sich auf in den Neuzugang (In_{bank}) aus dem um die Lebensdauer zurückliegenden Fülljahr ($n - LD$). Bei der Lebensdauer von 3 Jahren ist die Entsorgung im laufenden Jahr identisch mit dem Neuzugang drei Jahre zuvor ($In_{bank\ n-3}$). Als Gleichung (2):

Gleichung 2:	$EB\ n = EB\ n-1 + In_{bank\ n} - In_{bank\ n-3}$
--------------	---

Bedingung für die Gleichsetzung der Entsorgung ($De_{bank\ n}$) mit dem Zugang ($In_{bank\ n-3}$) ist, dass in der Zwischenzeit die vor drei Jahren eingefüllte Gasmenge gleich geblieben ist. Dies ist streng genommen nicht möglich, allerdings wird diese Vereinfachung gemacht. Obwohl aus befüllten Sohlen zwischen Befüllung und Entsorgung (Bestandszeit) laufend gewisse Gasmengen emittieren, wird auf ihre Ermittlung (Em_{op}) verzichtet. Denn über das vor dem Lebensende der Schuhe durch Permeation oder mechanische Beschädigung entwichene Gas gibt es keine Schätzungen. ÖR ordnet dem Entsorgungs-Verlust sämtliche Emissionen zu und erfasst so implizit die lfd. Emissionen aus dem Bestand mit.

1.c Die Entsorgungsmenge aus Sportschuhsohlen

Unter 1.b wurde erörtert und in Gleichungen dargestellt, dass jährlich zur Entsorgung die - unveränderte - Menge des SF₆-Neuzugangs von drei Jahren vorher ansteht. Die Entsorgungsmenge ($De_{bank\ n}$) folgt mit zeitlicher Verzögerung von 3 Jahren dem Zugang $In_{bank\ n-3}$. Als Gleichung (3):

Gleichung 3:	$De_{bank\ n} = In_{bank\ n-3}$
--------------	---------------------------------

In Tab. 1 sind alle Aktivitätsdaten zusammengestellt: 1. Jährliche Zugänge, 2. jährliche Entsorgungsmengen (identisch mit den drei Jahre vorher erfolgten Zugängen) und 3. die Bestände von SF₆ in Sportschuhen zum jeweiligen Jahresende. Die Bestände

(Endbestand und mittlerer Bestand) dienen illustrativen Zwecken, da keine lfd. Emissionen ermittelt werden.

Tab. 1: Zugang, Entsorgungsmenge und Bestand zum Jahresende von SF ₆ in Sportschuhsohlen im Inland nach Jahren in t/a				
	Zugang	Endbestand *	Mittl. Bestand **	Entsorgung
Formel:	$\ln_{\text{bank } n}$			$\text{De } n = \ln_{\text{bank } n-3}$
1992	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1993	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1994	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1995	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1996	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1997	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1998	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1999	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2000	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2001	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2002	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht

Erläuterung: * $\text{EB} = \text{EB}_{n-1} + \ln_{\text{bank } n} - \ln_{\text{bank } n-3}$. ** $B = (\text{EB}_{n-1} + \text{EB}_n) \times 0,5$.
n.e. = nicht ermittelt.

Kommentar

Der Zugang und – mit dreijähriger Verzögerung – die Emissionen steigen bis 1996 bzw. bis 1999 an, um danach wieder zu sinken. Da der Hersteller mittlerweile (2003) seine Produktion ganz umgestellt hat, und zwar für die Masse auf Stickstoff und für den Rest auf den FKW Perfluorpropan, werden die Emissionen 2006 auslaufen. Drei Jahre lange wird es danach noch FKW-Emissionen geben.

2. Ermittlung und Informationsquellen für die Aktivitätsdaten

Der Sportartikelhersteller Nike hat seit 1996 nur Zahlen über die weltweit eingesetzte SF₆-Menge in seinen Schuhsohlen bekannt gegeben. Auf einem Treffen mit der EU-Kommission (DG Environment) bezifferte der Firmen-Repräsentant R. Macmillan den Anteil der EU am Gesamtverbrauch von Schuhen dieses Typs generell auf 25%. Die nach Deutschland in Schuhen gelieferte SF₆-Menge wurde von ÖR – dem Anteil Deutschlands an der EU-Bevölkerung entsprechend - wiederum auf 25% des EU-Wertes geschätzt. Die Daten vor 1996 entstammen einer Schätzung der deutschen Niederlassung von Nike gegenüber ÖR im Jahre 1996.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Nike International, Niederlassung Deutschland, Weiterstadt, Fax an ÖR, 07.05.96.
Nike Inc., Beaverton (USA), Brief an Greenpeace Dänemark 12.09.97, pers. Mitt. an ÖR, 07.09.99.

Nike European Office, Brussels, 17.06.02.

SF₆ in sport shoes, Ch. 4.3, in: Costs and the impact on emissions of potential regulatory framework for reducing emissions of hydrofluorocarbons, perfluorocarbons and sulphur hexafluoride (final report). Prepared on behalf of the European Commission (DG ENV)

by J. Harnisch (Ecofys) & W. Schwarz (Öko-Recherche), February 4, 2003, p. 22-23.
http://www.oekorecherche.de/english/berichte/volltext/ecofys_oekorecherchestudy.pdf.

3. Die Emissionsrate bei der Entsorgung

Eine Rückgewinnung bei der Entsorgung findet nicht. Darum entweichen bei der Entsorgung alter Schuhe 100% des – im Mittel - drei Jahre vorher eingefüllten SF₆ in die Atmosphäre. Die Emissionsrate der Entsorgung (EF_{disp}) beträgt daher 100%.

Die Emissionen des Jahres n werden vollständig mit der Befüllung des Jahres n-3 gleichgesetzt. Dies gilt unter der Bedingung, dass laufende Emissionen während der Nutzungsdauer der Schuhe nicht berücksichtigt werden.

4. Die SF₆-Emissionen aus Sportschuhsohlen seit 1995

Bei gegebener Entsorgungsmenge und der Emissionsrate (EF_{disp}) 100% sind die Emissionen identisch mit den Entsorgungsmengen selbst (lt. Tab. 1). Der besseren Übersicht wegen werden beide – identischen - Zeitreihen in Tab. 2 eingetragen.

Tab. 2: Emissionen von SF ₆ bei der Entsorgung von Sportschuhen in t/a		
	Entsorgung	Emissionen
1995	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1996	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1997	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1998	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
1999	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2000	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2001	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht
2002	nicht veröffentlicht	nicht veröffentlicht

Quelle: Tab. 1, rechte Spalte.

5. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle

Aktivitätsdaten. Die weltweiten SF₆-Verbräuche für Schuhsohlen sind als sehr verlässlich zu bewerten. Dass es sich um SF₆-Mengen handelt, die für die Neuproduktion eingesetzt und nicht bereits in Schuhen verkauft wurden, ist keine große Fehlerquelle. Der Anteil der EU-Staaten daran (25%) ist zwar eine von Nike selbst stammende Schätzung. Diese Schätzung ist aber relativ grob. Dies gilt erst recht für die darauf aufbauende Schätzung für den deutschen Anteil, der über die Einwohnerzahl Deutschlands abgeleitet wurde. Der deutsche Anteil, der konstant mit 6,25% des weltweiten Einsatzmenge kalkuliert wurde, kann in Wirklichkeit auch zwischen 4 und 8% liegen.

Die Lebensdauer von 3 Jahren ist ein Durchschnittswert. Manche Schuhsohlen bzw. ihre Gaskissen halten weniger lang, manche verlieren das Gas erst nach zehn Jahren. Der Emissionszeitpunkt "drei Jahre nach Befüllung" wurde nicht kontrolliert.

6. Verhältnis zur IPCC-Methode

Aktivitätsdaten: IPCC GPG schlägt unter "3.5.2 Other sources of SF₆" für Anwendungen, die die adiabatische Eigenschaft von SF₆ nutzen (Autoreifen, Schuhsohlen) einen Top-down Ansatz vor, der sich auf die Verkaufsdaten für SF₆ in die

Anwendung stützt. Dem entspricht die Vorgehensweise von ÖR grundsätzlich. Es mussten nicht einmal Gaselieferanten befragt werden, sondern die Daten stammen letztlich vom einzigen Anwender selbst.

Emissionen: ÖR verwendet die Emissionsgleichung 3.23 des IPCC-GPG.

Equation 3.23:	Emissions in year t = Sales in year t –3
----------------	--

7. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, in welche die Daten zu SF₆ in Sportschuhen primär eingetragen werden, ist Table 2(II)Fs2, Zeile 41, Spalten B (filled in), C (stock), D (Entsorgungsmenge) und die Emissionsspalte J (Emissions from Disposal). Die Spalte H (Emissions from manufacturing) bleibt aber ebenso leer wie die Spalte I (Emissions from stocks). Fertigungsemissionen fallen nur im Ausland an, laufende Emissionen wurden nicht ermittelt.

Wegen Vertraulichkeitszusage werden die Daten zu Sportschuhsohlen zusammen mit denen zu Flugzeugradar zusammengefasst und in der gleichen Zeile eingetragen.

F-Gas-Blatt 36 Teilchenbeschleuniger

F-Gas	SF₆
Anwendung	Teilchenbeschleuniger
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 4	Laufende Emissionen vom Bestand
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen
Emissionstyp 5	Entsorgungsemissionen

Hintergrund

SF₆ wird bei Teilchenbeschleunigern als Isolatorgas eingesetzt. Geräte unterschiedlicher Größe werden an Hochschulinstituten, Einrichtungen des Bundes sowie Instituten der Forschungsgemeinschaften (Max-Planck-Gesellschaft, Helmholtz-, Fraunhofer- und Leibniz-Gemeinschaft) zu Forschungszwecken eingesetzt.

Eine etwa gleich große Anzahl von Geräten dient als "Elektronenstrahlwerkzeuge" im industriellen Bereich zu Produktionszwecken (insbes. Polymervernetzung).

Eine dritte Kategorie stellen die Strahlentherapie-Geräte dar, die in medizinischen Einrichtungen (Krankenhäuser u.a.) Verwendung finden. Vor 1996 wurden in diesen Geräten FCKW eingesetzt.

Die bisher genannten Beschleuniger sind Hoch-Energie-Geräte mit Spannungen von 0,3 bis über 23 MV. Eine vierte Kategorie sind die so genannten Niedrig-Energie-Geräte mit weniger als 0,3 MV. Sie werden ausschließlich in der Industrie genutzt.

Bei den mit großem Abstand am meisten eingesetzten Hoch-Spannungs-Geräten im Forschungs- und Industriebereich befinden sich Beschleuniger und Hochspannungsquelle (Van-de-Graaff-Generatoren; neuerdings auch kompaktere Hochspannungsgeneratoren mit Dioden in Kaskadentechnik) in einem mit SF₆ oder SF₆-Beimischung isolierten Tank, der ggfs. unter Druck steht. Zur Einstellung der Geräte und zu Reparaturzwecken muss der Tank geöffnet werden, wobei das Isolatorgas in Reservetanks umgepumpt wird. Hierbei sowie beim Anspringen von Überdruckventilen bei Beschleuniger- und Reservetanks treten SF₆-Verluste auf. Die Forschungs-Beschleuniger, die unter variierenden Bedingungen gefahren werden, müssen i.d.R. häufiger geöffnet werden als die industriell genutzten Elektronenbeschleuniger. Für medizinische Strahlentherapie bei Krebsbehandlung durch Bestrahlung mit Elektronen bzw. Photonen werden industriell voreingestellte Teilchenbeschleuniger eingesetzt, bei denen der sog. Hohlleiter, in dem die Teilchen beschleunigt werden, zur Verhinderung von Spannungsüberschlägen mit SF₆ als Isolationsgas gefüllt ist.

Insgesamt gilt: Der SF₆-Verbrauch bei Erst- bzw. Neubefüllung der Geräte und beim Emissionsersatz ist von der Größe der Geräte, den Druckverhältnissen sowie den Betriebsbedingungen abhängig.⁹

⁹ Der weltweite SF₆-Bestand in allen Teilchenbeschleunigern wird auf etwa 1000 t geschätzt, jeweils zur Hälfte in Forschungseinrichtungen bzw. der Industrie. Die Gesamtemissionen von etwa 70 t dürften sich zu gleichen Teilen auf beide Sektoren verteilen. In Strahlentherapiegeräten sind außerdem etwas unter 5 t enthalten. Emissionen aus dieser Quelle sind etwa genau so groß.

I. SF₆ Bestand und laufende Bestandsemissionen

1. Die Sondererhebung durch Öko-Recherche von 2004

Anfang 2004 führte ÖR eine Totalerhebung zu den im Inland genutzten Teilchenbeschleunigern durch, um die teilweise bis auf 1996 zurückreichenden Daten zu aktualisieren. Im Zuge dieser Untersuchung wurden sowohl Anwender als auch Hersteller nach den SF₆-Mengen in den vielfältigen Geräten befragt sowie nach den Gas-Nachfüllungen während der letzten sieben Jahre. Außerdem wurden Veränderungen im SF₆-Bestand durch Neuerwerb oder Außerbetriebnahmen eruiert. Dadurch kam ein guter Überblick zustande. Tab. 1 gibt die Zeitreihe des inländischen SF₆-Bestands in fünf Anwendungsbereichen wieder. Zwecks Vereinfachung sind die Daten in Zwei-Jahres-Abschnitten dargestellt. Außerdem ist die Stückzahl nur in einer Spalte wiedergegeben. (Der komplette Datensatz ist in der externen Tabellenkalkulation für Berichtszwecke enthalten).

2. SF₆ Bestand in fünf Anwendungsbereichen 1995-2003

Tab. 1: SF ₆ Bestand in Teilchenbeschleunigern nach fünf Anwendungsbereichen 1995-2003 in t						
Nutzer-Kategorie	1995	1997	1999	2001	2003	Stück 95→03
Universitäts-Institute	30,571	30,571	28,467	28,067	28,317	13→11
Forschungs-Einrichtungen	19,555	19,555	19,555	19,555	19,555	10→9
Industrie (Hochspannung)	13,750	19,700	22,700	24,422	24,422	12→19
Zwischensumme	63,876	69,826	70,722	72,044	72,044	35→39
Industrie (Niederspannung)	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	14→14
Strahlentherapie Einricht.	0,156	0,162	0,168	0,173	0,178	350→401
Zwischensumme	1,756	1,762	1,768	1,773	1,778	364→415
Nutzer-Kategorie	65,632	71,588	72,490	73,817	73,822	399→455

Quellen: Siehe Abschnitt 5.

Kommentar

Die Zahl der in der Regel großvolumigen Hochspannungs-Geräte für Forschung und Industrie hat leicht zugenommen. Sie stieg per Saldo von 1995 bis 2003 um fünf Stück, von 35 auf 40. (Siehe obere Zwischensummen-Zeile, rechts außen.) Bei näherem Hinsehen zeigt sich, dass die Forschungsgeräte in den letzten acht Jahren um drei abgenommen haben (von 23 auf 20), während Industriegeräte im Bestand um sieben gewachsen sind (von 12 auf 19). Wie die Zwischensummen-Zeile zeigt, hat der SF₆-Bestand in diesen Geräten von 63,9 auf 72,0 Tonnen zugenommen. Die durchschnittliche SF₆-Füllmenge solcher Beschleuniger-Typen betrug 1,7 Tonnen in 1995 und 1,8 Tonnen im Jahre 2003.

Die Zahl der Niederspannungsgeräte in der Industrie (durchschnittliche Füllmenge ca. 114 kg) ist mit 14 Stück seit 1995 gleich geblieben. Die Zahl der Strahlentherapie-Geräte mit durchschnittlichen Füllmengen von nur 0,44 kg stieg von 1995 bis 2003 von 350 auf 401. Der SF₆-Bestand in beiden Gerätetypen nahm leicht von 1,76 auf 1,78 t (jeweils zusammen) zu.

3. Laufende Emissionen vom Bestand

Bei den großen Geräten wurden die laufenden Emissionen nicht mithilfe von Emissionsfaktoren abgeschätzt, sondern über die Nachfüllungen der Anwender ermittelt. Lediglich die Emissionen aus industriellen Niederspannungsgeräten und den kleinen medizinischen Geräten wurden von Experten der Herstellerfirmen geschätzt. Die laufenden Emissionen sind in Tab. 2 enthalten.

Tab. 2: SF ₆ Emissionen aus Teilchenbeschleunigern nach fünf Anwendungsbereichen 1995-2003 in Tonnen						
Nutzer-Kategorie	1995	1997	1999	2001	2003	Stück 95→03
Universitäts-Institute	1,853	1,853	1,703	1,508	1,558	13→11
Forschungs-Einrichtungen	1,259	1,259	1,246	1,246	1,196	10→9
Industrie (Hochspannung)	0,958	1,291	1,548	1,722	1,710	12→19
Zwischensumme	4,070	4,403	4,497	4,476	4,464	35→39
Industrie (Niederspannung)	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	14→14
Strahlentherapie Einricht.	0,345	0,359	0,372	0,384	0,395	350→401
Zwischensumme	0,365	0,379	0,392	0,404	0,415	364→415
Gesamt	4,435	4,782	4,889	4,880	4,879	399→455

Kommentar

Die Nachfüllmengen als Indikatoren der laufenden Emissionen betragen bei den meist großvolumigen Teilchenbeschleunigern zu Forschungs- und industriellen Zwecken (erste drei Zeilen von Tab. 2) seit 1995 über 4 t jährlich. Sie liegen seit 1997 relativ konstant bei 4,4 t/a. In nachfolgender Tabelle 3 (s. u.) ist der Faktor der laufenden Emissionen in Zwei-Jahres-Schritten eingetragen. Er bewegt sich zwischen 6,0 und 6,7%.

Das SF₆-Gas wird bei Öffnung der Tanks dieser Anlagen umgepumpt und danach rückgeführt, was mit beträchtlichen Gasverlusten verbunden ist. Die gemeldeten Nachfüllungen schließen auch Emissionen durch Havariefälle ein. Sie sind bei den Industrieanlagen relativ etwas höher als bei den Forschungsanlagen.

Bei den kleinvolumigen Niederspannungs-Anlagen in der Industrie mit durchschnittlicher Füllmenge von 114 kg/Gerät sind die Emissionsraten nach Herstellerangaben mit 1,3% relativ niedrig.

Anders bei den Strahlentherapiegeräten in medizinischen Einrichtungen. Sie haben zwar nur ein durchschnittliches Füllvolumen von 0,44 kg/Gerät, aber eine jährliche Emissionsrate von über 200%. Mit nur 0,2% am SF₆-Bestand in Teilchenbeschleunigern machen sie von den Gesamtemissionen immerhin 7,5% aus.

Der hohe Nachfüllbedarf ergibt sich daraus, dass diese Geräte, deren Spannung bis zu 23 MV reicht, im Durchschnitt rund zwei Mal jährlich im Zuge der vom Hersteller durchgeführten Wartung geöffnet werden, wobei das Isoliergas entweicht. Es wird vom Servicepersonal durch mitgebrachte Flaschen regelmäßig wieder befüllt.

4. Implizite Faktoren der laufenden Emissionen

Tabelle 3 zeigt die laufenden Emissionsraten als Prozentsätze der entsprechenden SF₆-Bestände. Die mit Abstand wichtigsten Hochspannungs-Teilchenbeschleuniger in Forschung und Industrie weisen Werte zwischen 6,2 und 6,4% pro Jahr auf, mit einem

leicht sinkenden Trend in den letzten acht Jahren. Diese Emissionsfaktoren sind "implizit", da sie sich aus den erfragten Daten (Füllmengen, jährliche Nachfüllungen) ergeben, welche wirklich bzw. explizit von allen 39 inländischen Anwendern erfragt wurden.

Tab. 3: SF ₆ Emissionsfaktoren von Teilchenbeschleunigern nach fünf Anwendungsbereichen 1995-2003, in % des Bestands					
Nutzer-Kategorie	1995	1997	1999	2001	2003
Universitäts-Institute	6,1	6,1	6,0	5,4	5,5
Forschungs-Einrichtungen	6,4	6,4	6,2	6,2	6,2
Industrie (Hochspannung)	7,0	6,6	6,8	7,1	7,0
Zwischensumme	6,4	6,3	6,3	6,2	6,2
Industrie (Niederspannung)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Strahlentherapie Einrichtung.	222	222	222	222	222
Zwischensumme	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Gesamt	6,8	6,7	6,7	6,6	6,6

Quellen: Daten aus Tab. 2 in Bezug auf die Daten in Tab. 1. n. a. = nicht anwendbar.

Im Unterschied dazu beruhen die Emissionsfaktoren für industrielle Niederspannungsgeräte und medizinische Geräte auf Expertenschätzungen aus den Lieferunternehmen.

5. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen

Zu Beginn des Jahres 2004 führte ÖR eine Totalerhebung zu den inländischen Teilchenbeschleunigern durch, um die alten Daten zu aktualisieren. Dabei wurden sowohl Anwender als auch Hersteller befragt, und zwar nach den SF₆-Mengen in ihren Geräten als auch nach den SF₆-Nachfüllungen während der letzten sieben Jahre. Im Falle der Hochspannungs-Teilchenbeschleuniger für Forschung und Industrie beruhen die neuen Daten ausschließlich auf Anwender-Informationen.

Die Informationen zu den anderen Geräten stammen von den entsprechenden Anbieter-Unternehmen. Bei industriellen Niederspannungs-Geräten war dies der europäische Marktführer ESI, im Falle der medizinischen Geräte waren es die drei auf dem deutschen Markt vertretenen Unternehmen Siemens, Elekta und Varian.

Informationsquellen

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Hochspannungs-Beschleuniger (> 0.3 MV - > 10 MV)

Universitäts-Institute

Uni Augsburg, Inst. f. Experimentalphysik, 08.01.04.
 Uni Bochum, Dynamitron-Tandem-Laboratorium, 09.01.04.
 Uni Freiburg, Physik. Inst., 09.01.04.
 Uni Göttingen, II. Physik. Inst., 13.01.04.
 Uni Jena, Inst. f. Festkörperphysik, 13.01.04.
 Uni Köln, Inst. f. Kernphysik, 09.01.04.
 Uni Leipzig, Abt. Nukleare Festkörperphysik, 09.01.04.
 Uni Leipzig, Chemie, Inst. f. Oberflächenmodifizierung, 13.01.04.
 Uni/TU München, 29.01.04.
 Uni Tübingen, Physikalisches Institut, 12.01.04.
 Uni Stuttgart, Inst. f. Strahlenphysik, 12.01.04.

Forschungseinrichtungen

HMI Berlin, 16.01.04.

Leibniz-Institute, Dresden, Institut für Polymerforschung, 13.01.04.

FZ Rossendorf, Dresden, 12.01.04.

MPI f. Kernphysik, Heidelberg, 13.01.04.

IPP (MPI f. Plasmaphysik) Garching, 13.01.04.

MPI f. Metallforschung, Stuttgart, Inst. f. Physik, 02.02.04.

FhG INT (Institut f. Naturwiss. Techn. Trendanalysen), Euskirchen, 20.01.04.

PTB Braunschweig, AG 6.43 Ionenbeschleuniger, 13.01.04.

Industrie

BASF AG, Ludwigshafen 29.01.04.

BGS Beta-Gamma-Service GmbH & Co KG, Bruchsal/ Wiehl/Saal, 30.01.04.

Continental AG, Hannover, 29.01.04.

Corning Cable Systems GmbH, Hagen (ehem. RXS = Rose XraySiemens) 30.01.04.

Draka Automotive, Wuppertal, 05.02.04.

Hewing pro Aqua, Ochtrup, 26.01.04.

Nexans Deutschland Industries, Nürnberg, 04.02.04.

Pirelli Kabel & Systeme GmbH, Neustadt/Coburg, 22.01.04.

Sumitomo Electric Schrumpf-Produkte GmbH, Norderstedt, Production Dep., 09.02.04.

TYCO Electronics Raychem GmbH, Ottobrunn, 19.01.04.

Vivirad-High Voltage Corp., Handschuheim (près Strasbourg) 21.01.04. (Supplier)

Industrielle Niederspannungs-Beschleuniger (< 0.3 MV)

ESI (Energy Sciences Incorporation), Switzerland, 20.01.04. (Supplier)

Tesa AG, Hamburg, Technology Center, 06.02.04. (User)

Strahlentherapie (Hochspannung bis 23 MV)

Siemens AG, Erlangen, 16.01.04.

Elekta GmbH, Hamburg, 21.01.04.

Varian Medical Systems Deutschland GmbH, Darmstadt, 28.01.04, 04.03.04.

Deutsches Krebsforschungszentrum, Abt. W060 Strahlenschutz und Radiologie Dosimetrie, 19.01.04.

6. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle I

Die Anwenderdaten zu Hochspannungs-Teilchenbeschleunigern für Forschung und Industrie können als sehr verlässlich gelten, da die Geräte so wertvoll sind, dass Institutionen/Unternehmen mit Teilchenbeschleunigern grundsätzlich eigene Fachleute beschäftigen, die sich darum kümmern. Die Daten stammen durchweg von solchen Experten. Was die Daten-Vollständigkeit betrifft, so wurde gemäß dieser Branchenexperten in der Aufstellung kein einziger Beschleuniger vergessen. Daher schätzt ÖR, dass maximal ein Gerät fehlt, so dass Daten-Vollständigkeit von über 95% gegeben ist.

Die Anzahl der Niederspannungssysteme und medizinischen Geräte ist ebenfalls sehr verlässlich. Die vier Anbieter führen Listen über jedes einzelne Gerät, das in Deutschland installiert ist. Was Emissionen betrifft, so weisen die Emissionsfaktoren natürlich Unsicherheiten auf, da diese nicht Messwerte sind, sondern Expertenschätzungen. Zu erwähnen ist jedoch, dass die verschiedenen Anbieter bezüglich der Größenordnung der Emissionen in hohem Maße übereinstimmen.

7. Verhältnis zur IPCC-Methode I

Unter "3.5.2 Other sources of SF₆" erwähnt IPCC GPG einige weitere Anwendungen", die u. a. "equipment used in accelerators" umfassen. Die Emissionen aus dieser Anwendung sollen als "semi-prompt emissions" behandelt werden, sofern keine spezifischen Informationen für diese "sub-source category" vorhanden sind. Da es diese aber in vorliegendem Falle gibt, wird der ÖR-Ansatz als geeignetes Verfahren erachtet.

8. Eintrag in CRF I

Die CRF-Tabelle, in die Bestand und laufende Emissionen von SF₆ aus Beschleunigern primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs2, Reihe 34, Spalten C und I.

Die Daten werden zusammen mit den Daten über SF₆ für Starkstrom-Kondensatoren unter der gemeinsamen Rubrik "Other Electric Equipment" zusammengefasst.

II. Inländischer SF₆ Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

Die Sondererhebung von 2004 fragte die Anwender von HS-Beschleunigern auch nach Bestandsveränderungen infolge von sowohl Neuerwerbungen als auch Außerbetriebnahmen. Zwischen 1995 und 2003 wurden neun Systeme erstmalig in Betrieb genommen, davon sieben in der Industrie. Bei Erstbefüllung wird ein Verlust von 1% angenommen. Das entspricht dem Wert, der im Sektor der Betriebsmittel zur Elektrizitätsübertragung üblich ist. Tab. 4 zeigt sowohl die SF₆-Mengen, die in neue Großsysteme gefüllt wurden als auch die dabei entstehenden Fertigungsemissionen (Em_{manu}) in Höhe von 1%.

Im kleineren Anwendungsbereich der Niederspannungsgeräte ist weder ein neues System hinzugekommen noch ein altes außer Dienst gestellt worden.

Im noch kleineren Anwendungsbereich der Strahlentherapie gab es ein stetiges Wachstum um durchschnittlich sieben Einheiten pro Jahr in den vergangenen sieben Jahren. Dies bedeutet, dass jährlich nur etwa 3 kg SF₆ in diesen Geräten dem Bestand zugehen. Der gesamte inländische Befüllverlust (Erstbefüllung) betrüge jährlich zwischen 30 und 300 g bei einem Emissionsfaktor zwischen 1% und 10%. Mangels Bedeutung in Verbindung mit schwer einschätzbaren Emissions-Unsicherheiten werden die Befüllverluste in Tab. 4 nicht berücksichtigt. Nur die Hochspannungs-Beschleuniger für Industrie und Forschung sind dort enthalten.

Tab 4: Jährlicher SF₆-Verbrauch für neue HS-Beschleuniger in Industrie und Forschung sowie Befüllungsverluste, in Kilogramm 1995-2002

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Neue Systeme (Stück)	0	2	1	2	1	1	1	1
SF ₆ Verbrauch in kg	0	4450	1500	2500	1500	1500	222	250
Emissionsfaktor /a	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Befüllungsemiss. in kg	0	45	15	25	15	15	2	2,5

Quelle: ÖR-Erhebung 2004. 2003 wurde kein neues System in Betrieb genommen.

III. SF₆ Entsorgung und Entsorgungsemissionen

Der Sondererhebung zufolge wurden zwischen 1995 und 2003 sechs HS-Beschleuniger still gelegt, alle im Forschungsbereich. Bei den Außerbetriebnahmen wird ein Gasverlust von 4% angenommen. Auch dieser Wert ist vom Energieübertragungssektor abgeleitet, ist aber doppelt so hoch angesetzt, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass das Personal im Forschungsbereich mit solcher Tätigkeit viel weniger vertraut ist. In Tab. 5 sind sowohl die SF₆-Mengen, die zur Entsorgung anstehen, als auch die 4% Entsorgungsemissionen eingetragen, und zwar wiederum nur für die, einzig relevanten, HS-Beschleuniger.

Tab 5: Jährliche SF₆ Entsorgung aus HS-Beschleunigern, in Kilogramm 1995-2002

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Alte Einheiten (Stück)	1	0	0	2	3	0	0	0
SF ₆ zur Entsorgung kg	1780	0	0	1100	2254	0	0	0
Emissionsfaktor /a	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Entsorgungsemiss. in kg	71	0	0	44	90	0	0	0

Quelle: Öko-Recherche-Erhebung 2004.

Gegenüber den Ausführungen in Teil I ist zu den Aktivitätsdaten nicht Neues zu sagen. Neu in Teil II und III sind die Emissionsfaktoren für Befüllung und Entsorgung. ÖR ist ausschließlich alleinverantwortlich für deren Höhe von 1% bzw. 4%.

Verhältnis zur IPCC-Methode II / III

ÖR folgt nicht der Empfehlung von IPCC GPG, die Emissionen aus Beschleunigern als "semi-prompt emissions" zu behandeln. Da spezifische Informationen (über die Nachfüllungen) vorhanden sind, gilt der von ÖR gewählte Ansatz als geeigneter.

Eintrag in CRF II / III

Die CRF-Tabelle, in der die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emissions from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs2, Zeile 34, Spalten B und H. Die Daten zu "Amount of fluid remained in products at decommissioning" und "Emissions from disposal" kommen in Zeile 34, Spalte D und J.

Diese Daten werden zusammen mit denen zu SF₆ für Starkstromkondensatoren unter der gemeinsamen Rubrik "Other Electric Equipment" zusammengefasst.

F-Gas-Blatt 37 Starkstrom-Kondensatoren

F-Gas	SF₆
Anwendung	Starkstrom-Kondensatoren
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen

Hintergrund

Seit 1995 wird für die Gas-Imprägnierung von Komponenten von Starkstrom-Kondensatoren SF₆ in einem offenen Prozess angewendet. Alles SF₆-Gas, das der Fertigung jährlich zugeführt wird, dient zum Ausgleich von Gasverlusten in die Atmosphäre vor und nach dem Imprägnierprozess selbst.

SF₆ Verbrauch zur Fertigung und Fertigungsemissionen

1. Verbrauch gleich Fertigungsemissionen

Der gesamte jährliche Neuverbrauch (SF₆-Käufe) wird eingesetzt, um die Gasmenge auszugleichen, die im Zuge des Imprägnierprozesses freigesetzt wird. Im eigentlichen Prozess selber reagieren maximal 0,1% des zugeführten Gases mit der Kunststoff-beschichteten Oberfläche, um diese zu imprägnieren. Daher ist es praktisch korrekt, den SF₆-Verbrauch mit den SF₆-Emissionen gleichzusetzen ($C_{\text{manu}} = E_{\text{manu}}$), auch wenn der Emissionsfaktor der Fertigung (EF_{manu}) ein klein wenig geringer als 100% ist.

Tab. 1: Verbrauch und Emission von SF ₆ bei der Fertigung von Starkstrom-Kondensatoren, 1995-2002 in t/a		
	Verbrauch zur Fertigung	Fertigungsemissionen
1995	0,732	0,732
1996	9,377	9,377
1997	10,065	10,065
1998	12,000	12,000
1999	11,618	11,618
2000	13,443	13,443
2001	12,557	12,557
2002	8,875	8,875

Quelle: Siehe Abschnitt 2.

Kommentar

Seit dem Beginn im Jahre 1995 haben Verbrauch/Emissionen kräftig zugenommen, und zwar bis auf 13,4 t im Jahr 2000. Im Jahr 2002 gab es einen deutlichen Rückgang. Von Anwenderseite wurde angekündigt, diese Form der SF₆-Nutzung noch in der ersten Dekade des 21. Jahrhunderts einzustellen. Für die nächsten Jahre ist mit weiteren Rückgängen bei Verbrauch bzw. Emissionen von SF₆ zu rechnen.

2. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Abschätzung des Emissionsfaktors

Die Daten werden seit 2003 vom ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V.) erhoben und ÖR mitgeteilt. Im gleichen Jahr reichten die Hersteller ihre Verbrauchsdaten der Vorjahre nach. Was den Emissionsfaktor betrifft, so setzen die Hersteller selber den Verbrauch den Emissionen gleich.

Verantwortlich für die Datenermittlung ist im ZVEI Johannes Stein, Referent des Fachbereichs Schaltgeräte, Schaltanlagen, Industriesteuerungen, Stresemannallee 19, 60596 Frankfurt am Main.

3. Datensicherheit und Datenqualitätskontrolle

Die Aktivitätsdaten und damit die Emissionsdaten sind sehr verlässlich. Sie stammen direkt von den Herstellern. Diese sind zahlenmäßig überschaubar, so dass Transparenz garantiert ist.

4. Verhältnis zur IPCC-Methode

Unter "3.5.2 Other sources of SF₆" nennt IPCC GPG einige "remaining applications", von denen u. a. "equipment used in accelerators, lasers and night vision goggles" aufgeführt werden. Es gibt allerdings keinen Hinweis auf Starkstrom-Kondensatoren.

5. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle, in die Daten zu "Filled in new manufactured products" und "Emissions from manufacturing" primär eingetragen werden, ist Table 2(II).Fs2, Zeile 34, Spalten B und H. Die Daten werden aus Vertraulichkeitsgründen zusammen mit denen zu den Teilchenbeschleunigern unter der gemeinsamen Rubrik "Other Electric Equipment" zusammengefasst.

Im Jahr 2004 wurden für alle bisherigen Berichtsjahre seit 1995 Rekalkulationen vorgenommen, um die Zahlen auf den aktuellen Wissensstand zu bringen.

F-Gas-Blatt 38 Leiterplattenfertigung

F-Gas	CF₄
Anwendung	Leiterplattenfertigung
Berichtsjahre	1995 - 2002
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen

Hintergrund

In der Leiterplattenfertigung wird eine gewisse Menge CF₄ als Plasmaätzgas eingesetzt, nämlich beim sog. Desmearing.¹⁰

Unter Desmearing wird die Reinigung von Bohrlöchern in mehrschichtigen Leiterplatten (Multilayer) in Niederdruck-Plasmakammern verstanden. Dabei werden Kunststoffspäne in den abwechselnd aus Kunststoff- und Kupferschichten bestehenden Leiterplatten weggeätzt, um eine bessere Anbindung des Kupfers bei der anschließende Verdrahtung zu ermöglichen.

Dieses Verfahren wird von einem größeren und mehreren kleinen Leiterplattenherstellern anstelle nasschemischer Prozesse praktiziert. Das Plasmagas besteht in der Regel aus 20-30% CF₄ und 70-80% Sauerstoff. Zwei Durchlaufanlagen mit 1,5 Liter Durchsatz pro Minute, die rund um die Uhr laufen, steht eine größere Anzahl (ca. 40 Stück) kleinerer diskontinuierlich betriebener Anlagen ("Batch"-Betrieb) mit Gasdurchsätzen von nur ca. 100 ml/min gegenüber.

In der Leiterplattenfertigung gibt es zwar alkalische Abgaswäscher zum Auffangen der Reaktionsprodukte, aber keine Anlagen, die nicht umgesetztes CF₄ im Abgas spalten könnten.

¹⁰ CF₄ wird außerdem in noch geringeren Mengen für die Plasmareinigung außerhalb der Elektronik eingesetzt, und zwar als Additiv zu Sauerstoff zur Entfettung von Metalloberflächen.

FKW-Neuverbrauch, Emissionsfaktor und Fertigungsemissionen

Seit vielen Jahren wird für Bohrlochreinigung den inländischen Anlagen die gleiche Menge CF_4 zugeführt, nämlich 2-2,5 t/a. Während des Ätzprozesses setzen sich davon letztlich nur etwa 15% chemisch um, da sich im Plasma gespaltene Moleküle im Abgas zum größten Teil wieder vereinigen (rekombinieren). Mit der Einsatzmenge (jährlicher Neuverbrauch C_{manu}) ist daher zugleich der Emissionsfaktor (EF_{manu}) als inverse Umsetzungsrate gegeben. Er beträgt 85% (100%-15%) des CF_4 -Verbrauchs.

Es ist anzumerken, dass jährlicher Verbrauch zur Fertigung (C_{manu}) und Zugang (In_{bank}) in diesem Falle dasselbe sind. Im Folgenden wird von Verbrauch gesprochen.

In Tab. 1 sind nicht nur der jährliche Verbrauch, sondern außerdem der Emissionsfaktor und die Fertigungsemissionen eingetragen.

Tab. 1: Neuverbrauch, Emissionsfaktor und Emissionen von CF_4 bei der Leiterplattenfertigung (Bohrlochreinigung) 1995-2002 in t/a			
	Verbrauch (Mittelwert)	EF_{manu}	Fertigungsemission
1995	2,3	85%	2,0
1996	2,3	85%	2,0
1997	2,3	85%	2,0
1998	2,3	85%	2,0
1999	2,3	85%	2,0
2000	2,3	85%	2,0
2001	2,3	85%	2,0
2002	2,3	85%	2,0

Quellen: Siehe Abschnitt 2 und 3.

Kommentar

Von Experten wird der CF_4 -Jahresbedarf für dieses Verfahren weiterhin konstant eingeschätzt - ohne absehbare Zuwachs- oder Rückgangstendenzen in der Zukunft.

2. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Informationsquellen (Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönliche E-Mail Adressen)

Zwischen 1996 und 2003 wurden drei Mal Experten der Anwendungstechnik und des Spezial-Gasehandels unabhängig voneinander nach den Einsatzmengen von CF_4 befragt. Die Antworten waren recht einheitlich, was auf die überschaubare Marktgröße zurückzuführen sein dürfte.

Technics Plasma GmbH, Kirchheim bei München, 22.04.96; 08.03.01.

Buck Plasma Electronic, Neuenburg, 22.04.96.

plasonic Oberflächen GmbH, Gerlingen, 28.04.96; 31.03.99; 25.09.03.

Linde AG, Werksgruppe Technische Gase, Unterschleißheim, 29.04.96; 22.09.03.

3. Emissionsfaktor (Rate der Fertigungsemissionen)

Für zugeführtes CF_4 , das sich nur so kurz im Plasmareaktor aufhält, dass schwerlich von einem "Bestand" gesprochen werden kann, wird die gleiche Umsetzung im Plasma

wie bei der Halbleiterfertigung angenommen, nämlich 15%. Da keine nachgeschaltete Abgasbehandlung des CF₄ stattfindet, emittieren 85% des zugeführten CF₄-Gases unverändert bzw. rekombiniert im Abgas der Anlage.

Informationsquellen für den Emissionsfaktor (EF_{manu} = 85%)

(Diese veröffentlichte Fassung enthält im Falle von pers. Mitteilungen keine Namensangaben, Telefonnummern oder persönlichen E-Mail Adressen.)

Wie viel vom eingesetzten CF₄ emittiert, hängt von der Umsetzungsrate (engl. Utilisation Removal Efficiency) ab. Es gibt zwar keine festen Werte, jedoch einen gewissen Größenbereich, in dem sich die Umsetzung je nach konkreten Anwendungsbedingungen bewegt. Generell lässt sich sagen, dass die Umsetzung von der molekularen Stabilität abhängt und – in Bezug auf perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) - mit der Zahl der Fluoratome zunimmt. Da CF₄ die wenigsten Fluoratome der FKWs hat, ist seine Umsetzung am geringsten.

Air Products plc, Walton-on-Thames, 17.08. 99.

Air Products plc, Schreiben vom 08.07.96; Anhang: PFC Consumption Efficiencies for Processes Monitored.

Connors, A. /Raoux, S. (Applied Materials, Inc.): Emission Reduction Using Remote Plasma Clean, SEMICON West ETS Technical Seminar, San Francisco, CA, July 1998.

4. Datensicherheit und Daten-Qualitätskontrolle

Aktivitätsdaten. Die jährlichen Verbräuche von CF₄ wurden von den Experten unabhängig voneinander als konstant eingeschätzt. Auch in der Größenordnung gab es kaum Differenzen. Allerdings sind die jährlichen 2,3 t ein Mittelwert, wobei der wirkliche Wert zwischen 2 und 2,5 t schwankt.

Von ÖR wurde eine Plausibilitätskontrolle durchgeführt. Es gibt in Deutschland zwei große Anlagen mit Gasdurchsätzen von je 1,5 Liter/min und viele kleinere Anlagen, die zusammen die gleiche CF₄-Menge benötigen wie jene beiden. Der jährliche CF₄-Durchsatz durch eine der zwei größeren Anlagen (sie steht bei der Fa. Schöller in Wetter) wurde wie folgt errechnet:

Gas-Durchsatz pro Minute:	1.500 ml
CF ₄ (Anteil 25%) pro Minute	375 ml
CF ₄ pro Stunde	22,5 Liter
CF ₄ pro Jahr (24 h x 300 d)	162.000 Liter
Anzahl Mol (= /22,4)	7.232 mol
1 Mol CF ₄	0,088 kg
Durchsatz in kg (7232*0,088)	636 kg

Eine große Durchlaufanlage benötigt 636 kg, zwei davon daher 1.272 kg. Wenn die restlichen Anlagen noch einmal die gleiche Menge benötigen, ergeben sich 2.544 t. Dies deckt sich ziemlich gut mit den von Experten geschätzten 2 bis 2,5 t.

Emissionsrate. Die Umsetzungsrate von 15% ist der Standardwert, der weltweit für die Niederdruck-Plasmakammern der Halbleiterindustrie benutzt wird. Mangels weitergehender Abgasbehandlung wird daraus ein Emissionsfaktor von 85%.

5. Verhältnis zur IPCC-Methode

CF₄ in der Leiterplattenfertigung kommt in IPCC-GPG nicht vor. Allerdings gibt es dort (Table 3.15) "default emission factors from semiconductor manufacturing", und zwar auch für CF₄ unter verschiedenen Einsatzbedingungen. Er schwankt zwischen 0,7 und 0,9 – liegt damit im Bereich der von ÖR verwendeten 85% (0,85).

6. Eintrag in CRF

In der CRF-Tabelle 2(II).Fs2 werden die Emissionen von CF₄ aus der Leiterplattenfertigung zusammen mit den CF₄-Emissionen aus der Halbleiterindustrie in einer und derselben Zeile 26 eingetragen, und zwar in die Spalte H "Emissions from manufacturing".

Auf den Eintrag der Aktivitätsdaten (Verbrauch) wird verzichtet, da dies zu Verwirrung führen würde. Die Halbleiterindustrie meldet ihre Aktivitätsdaten nämlich nicht.

F-Gas-Blatt 39 Halbleiterfertigung

F-Gase	FKW (CF₄, C₂F₆, C₃F₈, c-C₄F₈), HFKW (CHF₃), SF₆, NF₃
Anwendung	Halbleiterfertigung
Berichtsjahre	1995 – 2002
Emissionstyp 1	Fertigungsemissionen

Hintergrund

In der Halbleiterindustrie emittieren gegenwärtig FKW (CF₄, C₂F₆, C₃F₈, c-C₄F₈), HFKW (CHF₃), Stickstoff-Trifluorid (NF₃) und SF₆ aus dem Fertigungsprozess. Diese Gase, die häufig als FC (Fluorinated Compounds) bezeichnet werden, weil es wesentlich auf die Fluoratome ankommt, werden in zwei Anwendungen eingesetzt, nämlich zum Strukturätzen dünner Schichten und zum Reinigen der Reaktionskammern nach dem sog. CVD-Prozess (Chemical Vapour Deposition). Einige der in die Plasmakammern eingebrachten FC werden im Produktionsprozess teilweise zu CF₄ umgewandelt.

Die Emissionen können nicht allein anhand der eingesetzten Mengen (Verkäufe des Gasehandels) ermittelt werden. Die Differenz zwischen Verbrauch und Emission resultiert erstens aus der partiellen chemischen Umsetzung im Plasmareaktor und zweitens aus der Wirkung nachgeschalteter Abgasreinigungsanlagen. Außerdem muss ein Rückstand (heel) von ca. 10 % pro Gasflasche als Nicht-Verbrauch beachtet werden. Die effektiven Emissionen sind dadurch in starkem Maße von den eingesetzten Abgasreinigungstechnologien abhängig.

Inländischer FC-Neuverbrauch und Fertigungsemissionen

1. Die Emissionen seit 1995

Von der deutschen Halbleiterindustrie liegen Emissionsangaben für alle Einzelstoffe vor. Die Emissionsdaten werden nach einer einheitlichen Berechnungsformel aus dem jährlichen Verbrauch für jede Produktionsstätte ermittelt, aggregiert und an das Umweltbundesamt gemeldet. Die Basisdaten (Verbrauch, Ausstattungsrate mit Abgasbehandlungsanlagen) für die Berechnung sind ebenso wie die Emissionsdaten nicht öffentlich, können aber zum Zweck einer Überprüfung eingesehen werden. Da nur die Emissionen, nicht aber der zu Grunde liegende Verbrauch gemeldet wird, ist keine Beurteilung der Anstrengungen der Halbleiterindustrie zur Emissionsrückhaltung möglich. Tab. 1 (veröffentlichte Version) zeigt die Emissionen für jedes einzelne Gas.

Tab. 1: F-Gas-Emissionen aus der Herstellung von Halbleitern, in t/a							
	C ₂ F ₆	CF ₄	CHF ₃	SF ₆	NF ₃	C ₃ F ₈	C ₄ F ₈
1995	Nicht veröffentlicht						
1996							
1997							
1998							
1999							
2000							
2001							
2002							

Quelle: ZVEI 2003.

Kommentar

Die Zeitreihe zeigt einen kontinuierlichen Anstieg der Emissionen bis zum Jahr 2000. Dies liegt u.a. daran, dass sich die Zahl der berichtenden Unternehmen von 1995 bis 1999 von sieben auf vierzehn verdoppelt hat. Darunter sind nicht nur neu gebaute Fabriken, sondern auch solche, die schon 1995 produzierten, aber noch nicht am Monitoring teilnahmen (Hochrechnungen wurden nicht durchgeführt). Darum sind die Emissionen vor 1999 systematisch unterzeichnet. Die im Jahr 2001 signifikant verringerten Emissionen nahmen im Jahr 2002 wieder zu. Sowohl die vorübergehende Abnahme als auch die erneute Zunahme der Emissionen ist auf wirtschaftliche Einflüsse (Schwankungen der Halbleiter-Produktion) und ggf. auf greifende Emissionsminderungsmaßnahmen zurück zu führen.

2. Datenermittlung und Informationsquellen

Bis zum Berichtsjahr 2000 basierten die Emissionsangaben auf Befragungen durch EECA-ESIA (European Electronic Component Manufacturers Association – European Semiconductor Industry Association). Die nationalen Hersteller wurden zu Produktionskapazitäten, eingesetzten Stoffmengen und Abgasbehandlungstechniken befragt. Ab Jahr 2001 werden aufgrund einer freiwilligen Zusage der deutschen Halbleiterindustrie deren Daten vom deutschen Verband (ZVEI, Bauelemente) erhoben und ausgewertet. Die Berechnung erfolgt nach der vom World Semiconductor Council (WSC) benutzten Formel. Verantwortlich beim ZVEI sind gegenwärtig Dr. Winter und Dr. Pophal.

3. Datenqualität und Datensicherheit

Die Emissionsangaben werden als relativ genau bewertet, soweit dies im Rahmen einer vom Verbrauch ausgehenden Berechnung möglich ist. Emissionsermittlung durch laufende Messungen gilt generell als nicht durchführbar. Die Daten werden auf ihre Plausibilität geprüft und durchlaufen einen Verbands-internen Prozess der Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung. Eine Unterzeichnung der Emissionen vor 1999 geht darauf zurück, dass nicht alle produzierenden (und emittierenden) Unternehmen erfasst waren und auch keine Hochrechnungen vorgenommen worden sind (Auskunft: Beatrix Pichl, Texas Instruments Deutschland GmbH, 25.03.04). Eine Schätzung der wirklichen Emissionen von 1995 bis 1997 wurde von ÖR beim ZVEI für 2004 angeregt.

4. Verhältnis zur IPCC-Methode

Die Berechnungsmethode, die der WSC benutzt, ist die FC-spezifische Methode nach Tier 2c lt. IPCC-GPG, Kap. 3.6. Diese Methode berechnet Emissionen für jedes eingesetzte FC auf der Basis unternehmensspezifischer Daten zu Gaseinkauf und Emissions-Kontrolltechnologien. Dabei werden Standardwerte benutzt (1) für die Teilmenge, die im Gaszylinder nach Gebrauch zurückbleibt, (2) für den Anteil des Gases, der im Fertigungsprozess verbraucht (zerstört oder umgewandelt) wird, und (3) für den Teil des Gases, das in CF₄ umgewandelt wird. Die Tier 2c Methode unterscheidet die Umsetzungsraten in der Fertigung nicht nach den Prozesstypen Ätzen oder CVD, sondern benutzt die Default Emission Factors lt. Table 3.15. Aus der gleichen Table 3.15 stammen auch die Werte für den Wirkungsgrad von Techniken zur Emissionskontrolle, der generell mit 90% (0,9) angesetzt wird.

Nachfolgend wird die Berechnungsformel des WSC wiedergegeben:

$\text{Emissions for PFC}_i = \text{PFC}_i \cdot (1-h) \cdot [(1-C_i)(1-A_i) \cdot \text{GWP}_i + B_i \cdot \text{GWP}_{\text{CF}_4} \cdot (1-A_{\text{CF}_4})]$
--

h = fraction of gas_i remaining in container (heel) Default: 10%.

PFC_i = purchases of gas_i = kgs_i

kgs_i = mass of gas_i purchased

GWP_i = 100 yr global warming potential of gas_i

C_i = average utilization factor of gas_i (average for all etch and CVD processes) = $1 - EF_i$

EF_i = average emission factor of gas_i (average for all etch and CVD processes)

B_i = mass of CF₄ created per unit mass of PFC_i transformed

A_i = fraction of PFC_i destroyed by abatement = $a_{i,j} \cdot V_a$

A_{CF_4} = fraction of PFC_i converted to CF₄ and destroyed by abatement = $a_{\text{CF}_4} \cdot V_a$

$a_{i,j}$ = average destruction efficiency of abatement tool_j for gas_i

a_{CF_4} = average destruction efficiency of abatement tool_j for CF₄

V_a = fraction of gas_i that is fed into the abatement tools.

5. Eintrag in CRF

Die Halbleitergase werden dem Emissionstyp 1 (Fertigungsemissionen) zugeordnet. Daher werden die Emissionen in die CRF-Table 2(II).Fs2 eingetragen, und zwar in den Zeilen 25-30 unter Spalte H "Emissions from manufacturing".

NF₃ ist bisher nicht berücksichtigt, da sein GWP (8000) 1995 vom IPCC noch nicht bewertet worden war.

F-Gas-Blatt 40 Aluminiumproduktion

F-Gase	FKW (CF₄ , C₂F₆)
Anwendung	Aluminiumproduktion
Berichtsjahre	1995 – 2002
Emissionstyp 7	Nebenproduktemissionen (by-product emissions)

Hintergrund

Die Hauptquelle von CF₄-Emissionen ist die Aluminiumverhüttung, die auch einen erheblichen Teil der C₂F₆-Emissionen verursacht. Die Emissionen sind keine Folge gezielter Anwendung der Gase im Produktionsprozess, sondern entstehen als Nebeneffekt der elektrolytischen Reduktion von Aluminiumoxid (Tonerde) zu Aluminium.

Zur Bildung von CF₄ und C₂F₆ kommt es bei normalem Verlauf der Aluminiumelektrolyse nicht. Nur wenn die Dosierung des Aluminiumoxids zum Elektrolyten nicht gleichmäßig und mit exakter Konzentration erfolgt, entsteht der so genannte Anodeneffekt. Er ist gekennzeichnet durch starke Überspannung, die aus dem Elektrolyten Fluor freisetzt, das sich mit dem Kohlenstoff der Anode zu organischen Fluorverbindungen umsetzt.

Durch neue Ofentypen in Verbindung mit computergestützten Dosiertechnologien konnten die Anodeneffekte und damit die FKW-Emissionen deutlich reduziert werden.

FKW-Emissionen aus der Aluminiumverhüttung

1. Entwicklung der Emissionen seit 1995

Durch umfangreiche Modernisierungsmaßnahmen in deutschen Aluminiumhütten sanken die absoluten Emissionen aus diesem Sektor zwischen 1995 und 2002 um 72 %, obwohl die Metallproduktion zunahm. Der spezifische Emissionsfaktor kg CF₄/t Al ist im Berichtszeitraum von 0,363 auf 0,088 gesunken.

Tab. 1: Emissionen von CF ₄ und C ₂ F ₆ in der deutschen Primäraluminiumindustrie 1995-2002 in t/a			
	Emission CF ₄ in t/a	Emission C ₂ F ₆ in t/a	Aluminiumproduktion t
1995	209	21	575.000
1996	198	20	576.500
1997	145	14,5	571.900
1998	157,22	15,7	610.000
1999	116	12	632.000
2000	48	4,8	643.793
2001	50,08	5	652.796
2002	58,1	5,8	654.502

Quellen: Siehe Abschnitt 2.

2. Ermittlung der Emissionen

Für die FKW-Emissionen aus Primäraluminiumhütten liegen aufgrund einer Selbstverpflichtung der Aluminiumindustrie vom Juni 1997 Emissionsangaben vor. Seit 1998 berichtet die Aluminiumindustrie jährlich für das Vorjahr über die Entwicklung der FKW-Emissionen aus diesem Sektor. Diese Daten basieren auf zwei Messkampagnen in allen inländischen Hütten, die in den Jahren 1996 und 2001 durchgeführt worden sind. Hierbei wurden je nach Technologie spezifische Emissionswerte pro Anodeneffekt ermittelt. Die Zahl der Anodeneffekte wird in den (fünf) inländischen Hütten erfasst und dokumentiert. Die CF₄-Gesamtemission wird durch Multiplikation der gesamten Anodeneffekte in einem Jahr mit der in 1996 bzw. – für die Jahre ab 2000 – in 2001 ermittelten spezifischen CF₄-Emission pro Anodeneffekt errechnet. C₂F₆ und CF₄ stehen im festen Verhältnis von 1 : 10.

Der Wert für 1995 wurde von Öko-Recherche 1999 ermittelt.

Der Monitoringbericht wird dem Bundesministerium für Umwelt vom Fachverband Primäraluminium im Gesamtverband der Deutschen Aluminiumindustrie e.V. (GDA) vorgelegt. Er wird nicht veröffentlicht. Anschrift: Fachverband Primäraluminium, Am Bonneshof 5, 40474 Düsseldorf.

3. Datenqualität und Datensicherheit

Die Emissionsangaben beruhen auf Messungen, die für jede Hütte spezifische CF₄-Emissionen während eines Anodeneffekts in Abhängigkeit von der eingesetzten Technologie ergeben haben. Damit ist ein hohes Maß an Sicherheit verbürgt, wenn, was der Fall ist, das Messprogramm in regelmäßigen Abständen (hier: fünf Jahre) wiederholt wird. Die Datensicherheit liegt über der Anwendung von Standard-

Emissionsfaktoren, die auf die Metallproduktion bezogen werden. Sie ist allerdings niedriger als im Falle kontinuierlicher Direktmessungen an der Hütten-Abgasleitung. Der Umstand, dass C_2F_6 nicht gemessen, sondern über einen festen Prozentsatz (10%) der CF_4 -Emissionen bestimmt wird, ist keine bedeutende Fehlerquelle, da dieser Größenordnung international durch Messungen gut abgesichert ist.

4. Verhältnis zur IPCC-Methode

Die in Deutschland praktizierte Methode entspricht der Tier 3b Methode: Smelter-specific relationship between emissions and operating parameters based on field measurements (IPCC GPG, Ch. 3.3). Dieses Verfahren wird im IPCC-Handbuch zusammen mit der Methode kontinuierlichen Monitorings als "most accurate method" bezeichnet.

5. Eintrag in CRF

Die CRF-Tabelle für den Eintrag der FKW-Emissionen ist Table 2(II),C,E, und zwar für CF_4 -Emissionen die Zelle E9, für die C_2F_6 -Emissionen die Zelle E10. Die Aluminiumproduktion wird in die Spalte C der Zeilen 9 und 10 eingetragen.

Abkürzungen – List of Abbreviations

B _n	Average bank over the current year	Mittlerer Bestand des laufenden Jahres
C _{manu}	Consumption for manufacturing	Verbrauch zur Herstellung
De _{bank}	Decrease in bank (Decommissioning)	Abgang vom Bestand (Außerbetriebn.)
EB _n	Bank at the end of the current year	Bestand am Ende des lfd. Jahres
EB _{n-1}	Bank at the end of the last year	Bestand am Ende des vorigen Jahres
EF _{disp}	Factor of disposal emissions	Faktor der Entsorgungsemissionen
EF _{manu}	Factor of manufacturing emissions	Faktor der Fertigungsemissionen
EF _{op}	Factor of operating emissions	Faktor der laufenden Emissionen
Em _{disp}	Emissions on disposal	Entsorgungsemissionen
Em _{manu}	Emissions from manufacturing	Fertigungsemissionen
Em _{op}	Operating emissions (from bank)	Laufende Emissionen (vom Bestand)
In _{bank}	Increase in domestic bank	Zugang zum inländischen Bestand
In _{bank n}	This year's increase in domestic bank	Zugang zum inl. Bestand im lfd. Jahr
In _{bank n-1}	Last year's increase in domestic bank	Zugang z. inl. Bestand im vorigen Jahr
LT	Lifetime (normal)	Lebensdauer (mittlere)
n	Current year	Laufendes Jahr
ÖR	Öko-Recherche	

Danksagung

An dieser Stelle möchte der Autor ganz besonders Frau Katja Schwaab (Umweltbundesamt) danken, die diesen Bericht angeregt und fachlich begleitet hat. Während des ganzen Projekts pflegte der Autor regen Meinungsaustausch mit Frau Schwaab, deren Ideen und Anregungen er nahezu ausnahmslos berücksichtigt hat.

Es ist im Übrigen auch ihr Verdienst, dass dieser ursprünglich rein interne Bericht für eine Veröffentlichung so überarbeitet werden konnte, dass er kaum an Informationsgehalt eingebüßt hat.