

HFKW-haltige Treibgase in PUR-Montageschaum

Bewertung der Emissionsreduktionspotenziale von
Montageschäumen im Hinblick auf eine Konkretisierung
der Regelungen nach §9(1) der Verordnung (EG)
842/2006

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 36 301 196
UBA-FB 001288

HFKW-haltige Treibgase in PUR-Montageschaum

**Bewertung der Emissionsreduktionspotenziale
von Montageschäumen im Hinblick auf eine
Konkretisierung der Regelungen nach §9(1) der
Verordnung (EG) 842/2006**

von

Dr. Winfried Schwarz

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

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

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

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

ISSN 1862-4359

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 1.4

Dessau-Roßlau, August 2009

Zusammenfassung

Die Treibgase von Montageschaum - zunächst FCKW, dann HFCKW, schließlich HFKW – wurden wegen ihrer Umweltproblematik immer wieder gesetzlich reglementiert. Noch 1998 bildete die Anwendung von Montageschaum mit 1,5 Mio. t CO₂-Äquivalenten in Deutschland die größte einzelne Emissionsquelle von HFKW.

Diese Untersuchung zeigt, dass es für die europäischen Hersteller ein langer Prozess gewesen ist, Montageschaum ohne HFKW-haltige Treibgase zu formulieren, der die deutschen Brandschutznormen für Gebäude erfüllt. Alle auf dem deutschen Markt vertretenen acht Herstellergruppen bieten Schaum in jeder marktgängigen Spezifikation ohne HFKW für die Baustoffklasse B2 an.

Es gibt in Deutschland kein Gesetz, das über B2 hinaus schwer entflammbare Baustoffe (B1) vorschreibt. Auch technische Normen, die sie vorschreiben, konnten in dieser Studie nicht ermittelt werden. Dies gilt auch für die folgenden Bereiche:

- Straßenbau,
- Tunnelbau,
- Schiffbau,
- Ver- und Entsorgungsleitungen für Wasser, Abwasser, Gas und Strom,
- Fernwärmerohrleitungen,
- Fahrzeugbau (Kühlfahrzeuge).

Während Brandschutz ausgehärteten Schaum betrifft, besteht Explosionsschutz in Vorsichtsmaßnahmen gegen hochentzündliche Gase, die bei der unmittelbaren Applikation aus der Dose freigesetzt werden. Die deutsche Arbeitsschutz-Gesetzgebung regelt den Umgang mit explosionsfähigen Gefahrstoffen, verbietet diese aber nicht. Generell gilt sie als ausreichende Sicherheitsnorm für die Anwendung von Montageschaum mittels entzündlicher Kohlenwasserstoffgase.

Die einzige Ausnahme ist der Steinkohlenbergbau unter Tage. Hier ist wegen des hohen Explosionsrisikos die Verwendung von Stoffen mit Flammpunkt < 55°C gesetzlich verboten. Der dort behördlich zugelassene Montageschaum, der jährlich im Umfang von etwa 10.000 Dosen eingesetzt wird, enthält ausschließlich unbrennbare Treibmittel, nämlich reinen HFKW-134a.

Das Verbot entzündlicher Gase im Bergbau bzw. Steinkohlenbergbau ist die einzige "nationale Sicherheitsnorm", welche nach Anhang II F-GaseV den Einsatz von Montageschaum mit Treibmitteln > GWP 150 erfordert.

Ab Mitte 2009 darf der bisherige Montageschaum wegen seines Gehalts an freien Isocyanaten nicht mehr in Selbstbedienung verkauft werden. Zurzeit gibt es bereits isocyanatfreien Schaum; er kann aber für die Baustoffklasse B 2 nicht ohne HFKW-134a hergestellt werden kann. Die Hersteller arbeiten daher an isocyanatfreien und HFKW-freien (GWP<150) Lösungen und werden sie in absehbarer Zeit anbieten.

In einem zusätzlichen Kapitel (Anhang) wird ein neues Verfahren vorgestellt, die HFKW-Emissionen abzuschätzen. Diese werden für die Jahre 2006 bis 2008 bestimmt, und für 2010 und 2020 vorhergesagt.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Aufgabenstellung der Studie	5
1. Anwendung und Spezifikationen von PUR-Schaum	6
2. Markt und Hersteller in der EU und in Deutschland	8
2.1 Absatzwachstum und neue Schaum-Spezifikationen.....	8
2.2 Die führenden Hersteller der EU und der Schweiz im Jahr 2008	9
2.3 Die Anbieter von 1K- und 2K-Schaum in Deutschland.....	10
2.4 Die Spezifikationen des Montageschaums auf dem deutschen Markt.....	11
2.5 Die Abfüller von Montageschaum in Deutschland.....	11
3. Die Rolle des Treibmittels für Montageschaum in Druckdosen	13
3.1 Die drei Hauptfunktionen des Treibmittels.....	13
3.2 HFKW 134a ist kein Flammschutzmittel	14
4. Treibmittelumstellungen in der EU und in Deutschland seit 1990	15
4.1 Erste Hälfte der 1990er Jahre: FCKW-Ausstieg und 50-Gramm-Regel.....	15
4.2 Drei Wege der HFKW-Verwendung in der EU bis 2000.....	15
4.3 Verminderung des HFKW-Anteils auch in Deutschland bis 2002/2003	16
4.4 Neue Spezialschäume ab 2002 zunächst nicht ohne HFKW-134a.....	17
4.5 EU-Regulierung fluorierter Gase und HFKW-134a-Ausstieg ab 2002	17
4.6 Stand 2008: Kein Treibmittelgemisch mehr mit GWP über 150.....	18
5. Sicherheitsaspekt I: Brandschutz nach Aushärtung	19
5.1 Die Baustoffklassen B1 und B2 für Gebäude	19
5.2 Brandschutzauflagen außerhalb von Gebäuden	20
6. Sicherheitsaspekt II: Explosionsschutz bei Anwendung	22
6.1 Allgemeine Regeln für den Umgang mit Gefahrstoffen	22
6.2 Besonderheiten von Tiefbau und Schiffbau.....	23
6.3 Besonderer Explosionsschutz im Bergbau	25
6.4 Die einzige nationale Sicherheitsnorm von Belang	30
7. Sonderfall: Isocyanatfreier Montageschaum mit HFKW-134a	31
7.1 Selbstbedienungsverbot für isocyanathaltigen Schaum ab Juni 2009.....	31
7.2 Isocyanatfreier Montageschaum bisher nur mit HFKW-134a.....	32
Anhang Emissionsabschätzung für das Umweltbundesamt	33
1. Die HFKW-Emissionen aus der Anwendung.....	33
2. Die HFKW-Emissionen bei der Abfüllung	36
3. Übersicht Emissionsprognose 2010 und 2020	37
Nachweise	38

Aufgabenstellung der Studie

Die Verordnung (EG) Nr. 842/2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase (F-GaseV) [1] verbietet für die Länder der EU ab 4. Juli 2008 das Inverkehrbringen von "Einkomponentenschäumen" mit Treibgas-Zubereitungen (nach Art. 2 (5)) über einem GWP von 150 – außer wenn solche Schäume "zur Einhaltung nationaler Sicherheitsnormen erforderlich" sind. Die deutsche Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung [2] geht in ihren Ergänzungen über diese Regelung nicht hinaus.

Damit bleiben wichtige Fragen offen, die sowohl aktuell für Deutschland als auch für die anstehende Revision der EU F-GaseV (Art. 10) zu beantworten sind:

1. Welche Sicherheitsnormen erfordern die Anwendung von Montageschäumen (1K, 2K) mit Treibgasgemischen mit GWP über 150 (mit unbrennbarem HFKW-134a)? Diese Frage ist zunächst für Deutschland zu klären.
2. Welche sicherheitsrelevanten Einsatzzwecke bestehen in Deutschland? Wie viel HFKW-Emissionen resultieren aus der Anwendung von 1K- und 2K-Montageschäumen in diesen Bereichen in den Jahren 2008-2010?
3. Welches Emissionsreduktionspotenzial resultiert aus einer ev. Ausweitung des Verbots auf alle Montageschäume ab 2010 und für die Jahre 2010 und 2020?

Im Zusammenhang mit der Erörterung dieser Fragen erwartet das Umweltbundesamt eine Herstellerübersicht für die EU sowie eine aktuelle Einschätzung von Produktion und Markt für Montageschaum mit und ohne HFKW in der EU und in Deutschland.

Basierend auf diesen Informationen sind belastbare Aussagen dazu zu treffen, ob die Ausnahmeklausel der F-GaseV der EU für Deutschland relevant ist.

Die Zusammenstellung muss geeignet sein, als Entscheidungsgrundlage der EU-Kommission für die Novelle der F-GaseV vorgelegt zu werden.

Darüber hinaus sind dem Umweltbundesamt zur Erfüllung der internationalen Berichtspflichten nach der Klimarahmenkonvention der UN (UNFCCC) geeignete Emissionsdaten über die fluorierten Treibhausgase aus Produktion und Verwendung von Montageschaum in Deutschland vorzulegen.

Die nachfolgend präsentierte Studie ist wie folgt gegliedert:

1. Anwendung und Spezifikationen von Montageschaum.
 2. Übersicht über Hersteller und Markt in der EU und in Deutschland.
 3. Rolle der Treibmittel für die Anwendung von Montageschaum.
 4. Entwicklung der Treibmittelumstellungen seit 1990 und aktueller Stand 2008.
 5. Anforderungen des Brandschutzes für ausgehärteten Schaum.
 6. Anforderungen des Explosionsschutzes für die Anwendung, sicherheitsrelevante Vorschriften und Einsatzgebiete in Deutschland.
 7. Sonderfall: isocyanatfreier Schaum mit HFKW-134a.
- Anhang: Emissionsabschätzung 2007 und Prognosen 2010 und 2020.

1. Anwendung und Spezifikationen von PUR-Schaum

Vorbemerkung: In dieser Studie wird generell der Begriff Montageschaum verwendet und nicht die Bezeichnung "Einkomponentenschaum" oder die Abkürzung OCF. Bei Aussagen über Treibmittel wird die technische Qualität des Schaums nicht diskutiert.

Polyurethanschaum (PUR-Schaum) zur Applikation aus Dosen (Druckgaspackungen) wurde in den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts (1974) auf den Markt gebracht. Die neue Verpackungsform erlaubte die nicht-industrielle Nutzung von PUR-Schaum durch Handwerker und Heimwerker.

Hauptanwendungsgebiet des PUR-Dosenschaums sind Gebäude (Neubau, Altbau, Renovierung). Zur Montage im engeren Sinne, woher der Name stammt, wird er heute nur in geringem Umfang verwendet (z. B. Befestigung von Türzargen); überwiegend dient er zum Verfüllen und Abdichten von Fugen und Hohlräumen an Fenstern und Türen, von Rohren in Wand- und Mauerdurchführungen, von Installationsschlitzen und dergleichen. Diese Anwendungen werden durch die leichte Applizierbarkeit, durch die Druckstabilität des ausgehärteten Schaums, durch den Dämm- und Isoliereffekt sowie durch die Haftung auf den meisten der verbreiteten Formen des Untergrunds begünstigt. Diese Vorteile des Montageschaums, die Klimaproblematik seiner Treibgase und technische Alternativen wurden u. a. in einer Studie des Umweltbundesamt von 2004 diskutiert. [3]

Chemisch gesehen, ist Polyurethanschaum ein Kunststoff, der aus der Vernetzung (Polymerisation) der beiden Komponenten Isocyanate und Polyole entsteht.

Es gibt Montageschaum, bei dem diese beiden Reaktionspartner in getrennten Behältern drucklos aufbewahrt und erst bei der Anwendung zusammengeführt werden. Wenn die beiden Komponenten miteinander reagieren, vernetzen sie zu einer hochmolekularen Verbindung und setzen zugleich Kohlendioxid frei, das den Kunststoff zu Schaum aufbläht. Das ist "zwei-komponentiger" Montageschaum im strengen Sinne. Er benötigt kein zusätzliches physikalisches Treibmittel; seine Anwendung ist aber nicht sehr einfach. Er wird praktisch nur professionell benutzt¹.

Einfacher zu handhaben ist Montageschaum aus einem einzigen Behälter, nämlich einer Aerosoldose. Im Innern der Dose bilden die beiden Komponenten bereits ein Zwischenprodukt (Präpolymer), das nach Ausbringung mit der Luftfeuchtigkeit weiterreagiert und aushärtet. Solcher Montageschaum wird "einkomponentig" (1K) genannt. Er benötigt ein physikalisches Treibmittel, welches das Präpolymer aus der Dose befördert und die Expansion des Schaums in Gang setzt.

Schließlich gibt es auch "zwei-komponentigen" (2K) Montageschaum aus einer Aerosoldose. Wie bei 1K-Schaum befindet sich in der Dose bereits ein Präpolymer aus beiden Komponenten, das durch ein physikalisches Treibmittel ausgetrieben wird. Zur Vernetzung und Expansion ist das Präpolymer aber nicht auf Umgebungsfeuchte angewiesen, sondern reagiert mit Polyolen, die sich in einer abgetrennten Kammer der Dose (meist im Dosenboden integriert) befinden und vom

¹ 2K-Schaum härtet schneller aus und ist fester als 1K-Schaum. Er wird vorzugsweise für Türzargen benutzt und dort, wo die Luft zu trocken ist.

Anwender aktiviert werden müssen². Dieser 2K-Schaum enthält wie der 1K-Schaum ein physikalisches Treibmittel bzw. ein Treibgas.

Bei den treibgashaltigen Dosenschäumen dominiert mit über 95% Marktanteil der 1K-Montageschaum. 2K-Montageschaum mit Treibgas kommt nur auf knapp fünf Prozent der Marktbedeutung von 1K-Montageschaum.

Der Marktanteil von treibgasfreiem zweikomponentigem Schaum aus zwei Behältern ist (z. B. in Deutschland) gering. Er beträgt weniger als fünf Prozent von treibgashaltigem Montageschaum (1K und 2K) in Aerosoldosen.

In dieser Studie wird nur Montageschaum in Aerosoldosen behandelt, weil nur dieser ein physikalisches Treibmittel (Treibgas) hat. Unter 1K- und 2K-Schaum werden generell die treibgashaltigen Produkte verstanden.

Außer treibgashaltigem Montageschaum gibt es auch treibgasfreien aus zwei Komponenten in getrennten Behältern. Der Markt dafür ist noch kleiner als der von treibgashaltigem 2K-Schaum und beträgt in Deutschland weniger als ein Zwanzigstel der Schäume aus treibgashaltigen Dosen³.

Die Treibgase - zunächst FCKW, dann HFCKW, schließlich HFKW – wurden immer wieder gesetzlich geregelt. Noch 1998 bildete die Anwendung von Montageschaum mit 1,5 Mio. t CO₂-Äquivalenten in Deutschland die größte einzelne Emissionsquelle von HFKW. [4] Seitdem haben die Hersteller große Anstrengungen zum Einsatz umweltfreundlicher Treibmittel unternommen, so dass sie auf das Verbot von HFKW (134a) durch die EU-F-GaseV vorbereitet waren (Siehe dazu Kapitel 4).

² Zweikomponentiger Montageschaum in einer einzigen Dose wird von Technikern auch 1,5 K-Schaum genannt. Denn zur Umsetzung der Isocyanatgruppen (erste Komponente) wird eine geringere Menge der zweiten Komponente zugesetzt als bei 2K-Schaum in zwei Behältern. Auf dem Markt hat sich diese Bezeichnung aber nicht durchgesetzt. 1,5 K-Schaum wird generell 2K-Schaum genannt, so dass es lediglich den Unterschied zwischen 2K-Schaum in einer Dose und 2K-Schaum in zwei Behältern gibt. Der erste enthält Treibgas, der zweite nicht.

³ So genannte 1,5-K-Schäume (mit Treibgas) sind Übergangsformen zwischen 1K- und 2K-Produkten. Zur Umsetzung der Isocyanatgruppen wird eine geringere Menge der zweiten Komponente als bei 2K-Schaum zugesetzt. Sie härten daher auch mit dem Wasser der Luftfeuchte aus. Wir behandeln sie in dieser Studie als 2K-Schäume.

2. Markt und Hersteller in der EU und in Deutschland

In den vergangenen zehn bis fünfzehn Jahren haben Produktion und Markt von Montageschaum in Dosen große Steigerungen erfahren. In den frühen 1990er Jahren war der Verbrauch praktisch auf Mitteleuropa und Skandinavien begrenzt, wobei in Deutschland fast die Hälfte der Produktion von etwa 60 Mio. Dosen (standardisiert auf 750 ml) verkauft wurde. [5]

2.1 Absatzwachstum und neue Schaum-Spezifikationen

Für 2008 schätzen die für diese Studie befragten Hersteller [6] die Produktion in der EU sowie der Schweiz auf 230 Mio. Dosen und den europäischen Markt auf etwa 190 Mio. Stück, davon den Markt der EU-27 auf 150 Mio. Stück (bei einem Durchschnittsvolumen von 750 ml, berechnet aus den verschiedenen Dosengrößen).

Trotz einer Anzahl von Neugründungen in den frühen 1990er Jahren in Osteuropa (TKK 1992, Selena 1993, Kim Jarolim 1993, Krimelte 1998) ist die Zahl der europäischen Hersteller nicht größer geworden. Denn in den vergangenen Jahren fanden Konzentrationsprozesse statt, in deren Verlauf mehrere unabhängige Produzenten in größere Herstellergruppen integriert wurden (Hago, BÜKA, Makroflex) oder die Abfüllung aufgaben (Baxenden - Großbritannien und Dänemark, Ara-Werk - Deutschland, Czewo - Deutschland, Hanno - Österreich).

Von den ca. 230 Mio. Dosen aus EU-27 plus Schweiz werden im westlichen Europa (EU-15) etwa 90 Mio. Stück verkauft. Auf den wachsenden Markt Osteuropa (neue EU-Länder plus Russland, Ukraine, Weißrussland) gelangen etwa 100 Mio. Dosen, davon 30 Mio. nach Russland, das außerdem 10 Mio. Dosen selbst produziert. Weitere Abnehmer der europäischen Produktion sind Türkei (8 Mio. plus eigene Produktion), Kasachstan (6 Mio.), Afrika (6 Mio.), Israel und restliche Welt (20 Mio.).

Seit dem Jahr 2000 ist die Vielfalt der treibgashaltigen Produkte angewachsen. Gab es vorher ein- oder zweikomponentige Allzweckschäume in den beiden Applikationsformen Adapter und Pistole, jeweils in Baustoffklasse B3 und B2, so gibt es heute außerdem Winterschaum (für niedrige Verarbeitungstemperaturen), Megaschaum (höhere Ausbeute), Brunnenschaum (Abdichtung von Schachtringen) - alle in B2 und B3 - sowie Brandschutzschaum (Baustoffklasse B1). Siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Angebotspalette des in der EU-27 und der Schweiz hergestellten Montageschaums (2008)												
Komponenten	Ein-komponentig									Zwei-komponentig		
	Allzweck		Brunnen		Mega		Winter		Brand. (B1)		Allzweck	
Spezifikation	B3	B2	B3	B2	B3	B2	B3	B2	B1		B3	B2
Brandklasse	B3	B2	B3	B2	B3	B2	B3	B2	B1		B3	B2
Applikation	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P

Erläuterungen. Baustoffklassen B1-B3 nach DIN 4102. A: Adapter (Sprührohr); P: Pistole.

Quelle: Herstellerbefragung 2008 [6].

Der Markt für Montageschaum besteht aus zwei unterschiedlich großen Teilmärkten. Erstens Handwerker (Professioneller Markt) und zweitens Heimwerker (Do-It-Yourself-Sektor bzw. Baumärkte). Der professionelle Markt umfasst etwa drei Viertel

der Produktion; die Anteile variieren stark zwischen den einzelnen Herstellern. Es ist charakteristisch für die Branche, dass die Hersteller die große Mehrheit ihrer Produktion nicht unter Eigenmarken verkaufen, sondern unter Fremdmarken, d. h. im Auftrag von Unternehmen, die die Handwerker mit Baustoffen u. dgl. beliefern.

2.2 Die führenden Hersteller der EU und der Schweiz im Jahr 2008

Die Tabelle 2 zeigt die neun führenden Herstellergruppen mit ihren Hauptsitzen. Sechs Hauptsitze befinden sich in Westeuropa (einschl. Schweiz), drei in den neuen EU-Ländern im östlichen Europa. Fünf der neun Gruppierungen verfügen über mehr als einen Produktionsstandort. Die Anzahl der abgefüllten Dosen (standardisiert 750 ml) beträgt etwa 230 Mio. Stück.

Tabelle 2: Die Hersteller in der EU und der Schweiz in der Reihenfolge ihrer Produktion (Mio. Dosen) 2008			
Herstellergruppe	Hauptsitz	Standorte	Mio. Dosen
Soudal	Belgien	Belgien	>40
Rathor-Polypag	Schweiz	Schweiz (2), Deutschland	>40
Henkel-Makroflex	Deutschland	Finnland, Estland	>40
Den Braven	Niederlande	Deutschland (2), Rumänien	30
Selena	Polen	Polen (2)	30
Krimelte	Estland	Estland	20
Tremco-IIIbruck	Niederlande	Niederlande	12
TKK	Slowenien	Slowenien	9
Kim Jarolim	Deutschland	Tschechien, Slowenien	7
Sonstige			<5
Summe			~230

Quelle: Herstellerbefragung 2008 [6].

Die drei führenden Herstellergruppen Soudal, Rathor-Polypag und Henkel sind etwa gleich groß, mit jeweils über 40 Mio. Stück Jahresproduktion.

- Soudal in Belgien produziert an einem einzigen Standort. Das Unternehmen ist mit seinen Produkten außer unter Fremdmarken auch stark auf dem Heimwerkermarkt (Baumärkte) vertreten, auch mit der Eigenmarke "Soudal".
- Dagegen produziert die Schweizer Rathor-Gruppe, die seit 2001 außer zwei Schweizer Betrieben den deutschen Hersteller Hago besitzt, vor allem für Handwerker und praktisch ausschließlich unter Fremdmarken für den Handel.
- Henkel hat die deutsche Abfüllung aufgegeben und 2003 die finnische Makroflex mit Produktion in Finnland und Estland übernommen. Henkel ist stark auf dem osteuropäischen Markt vertreten. Wichtigste Eigenmarke: Sista.
- Die Den Braven-Gruppe hat ihre Produktion in Deutschland jüngst durch Übernahme des Herstellers BÜKA erweitert und führt ihn zusammen mit Den Braven Aerosols GmbH (Autra) unter einem Dach. Seit kurzem wird auch in Rumänien abgefüllt. Die Hauptmärkte sind Mittel- und Westeuropa sowie Länder außerhalb der EU.

- Selena (seit 1993 Produktion in Polen), Krimelte (seit 1998 Produktion in Estland) und Kim Jarolim (seit 1993 Produktion in Tschechien und Slowenien) beliefern hauptsächlich den osteuropäischen und russischen Markt. Selena vermarktet PUR-Schaum unter der Eigenmarke "Tytan".
- Die EU-Märkte werden auch von Tremco-Ilbruck bedient, einem traditionsreichen Unternehmen in den Niederlanden (vormals Cocon), sowie von dem slowenischen Hersteller TKK (Abfüllung ab 1992).

2.3 Die Anbieter von 1K- und 2K-Schaum in Deutschland

Die Gesamtheit der in Deutschland jährlich abgesetzten Dosen (mit und ohne HFKW) liegt je nach Baukonjunktur zwischen 18 und 24 Mio. Stück (berechnet auf 750 ml Volumen). Die Schäume werden u. a. nach Baustoffklassen entsprechend ihrer Entflammbarkeit eingeteilt (siehe 5. Kapitel). Leicht entflammbare Schäume (B3) sind für Gebäude in Deutschland nicht zugelassen, so dass praktisch keine verkauft werden. Der Markt besteht fast vollständig aus B2-Produkten (normal entflammbar) und zu einem sehr geringen Anteil (~ 3%) aus B1-Schäumen (schwer entflammbar), die meistens "Brandschutzschaum" genannt werden. Dieser Schaumtyp wird nicht zur Einhaltung von Vorschriften oder Normen benötigt, allerdings legen manche Bauherren und Architekten auf schwere Entflammbarkeit Wert.

Die Zahl der relevanten Herstellergruppen für Eigen- und Fremdmarken in Europa, die auf dem deutschen Markt vertreten sind, beträgt nach den Konzentrationsprozessen der letzten Jahre nur noch acht. Der neunte Hersteller von relevanter Größe, AS Krimelte aus Estland, ist auf dem deutschen Markt nicht präsent.

Tabelle 3 zeigt die anbietenden Herstellergruppen nach geschätzten Marktanteilen.

Soudal (Belgien)	30%
Rathor/Hago (Schweiz/Deutschland)	30%
Tremco Ilbruck (vorm. Cocon) (Niederlande)	15%
Den Braven Aerosols/Debratex [BÜKA] (Deutschland)	15%
Henkel (Deutschland, Abfüllung Finnland und Estland)	5%
Selena-Orion (Polen)	< 3%
TKK (Slowenien)	< 3%
Kim Jarolim (Abfüllung Tschechien und Slowenien)	~ 1%

Quelle: Herstellerbefragung 2008 [6].

Die beiden Hersteller Soudal und Rathor (einschl. Hago) bedienen fast zwei Drittel des deutschen Marktes.

Mittelgroße Anbieter in Deutschland sind Ilbruck, DenBraven und Henkel.

Die drei osteuropäischen Hersteller Selena, TKK und Kim Jarolim haben nur kleine Marktanteile.

2.4 Die Spezifikationen des Montageschaums auf dem deutschen Markt

Die Untergliederung des deutschen Marktes nach den wichtigsten Spezifikationen der Montageschaumprodukte ergibt folgendes Bild (Gesamtmarkt 20 Mio. Dosen).

Spezifikation	Marktanteil (%)
1K Allzweckschaum	73
1K Megaschaum	18
1K Brunnenschaum	1
1K Winterschaum	1
1K Brandschutzschaum (B1)	3
2K Allzweckschaum	4

Quelle: Herstellerbefragung 2008 [6].

- Die größte Verbreitung mit etwa drei Viertel des Marktes hat 1K-Allzweckschaum in den Applikationsformen Adapter und Pistole.
- Von großer Bedeutung ist der so genannte Mega- oder Maxischaum, der bei gleichem Dosenvolumen eine um ein Viertel höhere Schaumausbeute liefert.
- Brandschutzschaum der Baustoffklasse B1 wird auf einen Marktanteil von etwa 3 Prozent geschätzt.
- Die Rolle von Winterschaum, der in Nordeuropa bis zu einem Viertel des Marktes ausmacht, ist in Deutschland gering, ebenso von Brunnenschaum zur Schachtabdichtung u. dgl., der eher als feuchtigkeitsbeständigere Variante des Allzweckschaums bezeichnet werden sollte.
- Zweikomponentiger Montageschaum für den professionellen Teilmarkt weist einen Absatz von etwas weniger als fünf Prozent auf.

2.5 Die Abfüller von Montageschaum in Deutschland

In Deutschland gibt es nur noch drei Abfüller von Montageschaum für eigene und fremde Marken; sie gehören zu zwei Unternehmensgruppen.

Abfüller	Jahresproduktion (Mio. St/a.)
1. Hago (Rathor-Gruppe) in Landsberg am Lech (Bayern)	10 Mio. St/a.
2. Den Braven Aerosols in Reichenberg-Albertshausen (Bayern)	20 Mio. St/a.
3. Debrattec (Büka) Den Braven in Schwepnitz (Sachsen)	5 Mio. St/a.

Quelle: Angaben der drei Betriebe im Rahmen der Herstellerbefragung [6].

Hago produziert B2 und B3-Schäume, Den Braven Aerosols fast nur B3-Schäume, Debrattec füllt B2 und B1-Schäume ab. Alle zusammen produzieren jährlich etwa 35 Mio. Dosen.

Fast zwei Drittel der in Deutschland abgefüllten Einheiten erfüllen nur die Baustoffklasse B3 (leicht entflammbar) und werden exportiert.

3. Die Rolle des Treibmittels für Montageschaum in Druckdosen

Chemisch gesehen, ist Polyurethanschaum ein Kunststoff, der aus der Polymerisation von Isocyanaten mit Polyolen entsteht. Nach Ausbringung aus der Dose vernetzen die beiden Bestandteile miteinander zu einer hochmolekularen Verbindung, nachdem sie bereits in der Dose ein oligomeres Zwischenprodukt (Präpolymer) gebildet haben. Nach Ausbringung des Präpolymers reagieren seine freien Isocyanatgruppen mit Wasser (Feuchte) aus der Umgebung; dabei wird Kohlendioxid abgespalten, das die Schaumbildung fortsetzt und vollendet, die von dem im Präpolymer enthaltenen Treibmittel begonnen wurde.

Die Brennbarkeit von PUR-Schaum erfordert flammhemmende Ausrüstung. Flammschutzmittel bilden daher in Standardformulierungen den dritten großen Bestandteil des Präpolymers - nach Isocyanaten und Polyolen. [7] Sie sind vornehmlich additiv; zu einem gewissen Teil sind sie aber auch reaktive Bestandteile der (halogenierten) Polyole. Ihre Menge und Art hängen von den Anforderungen an den Brandschutz des ausgehärteten Schaums ab. Dazu kommen weitere Additive wie Zellregulantien, Stabilisatoren, Weichmacher, Katalysatoren usw. Von überragender Bedeutung ist der vierte Hauptbestandteil der Formulierung: das Treibmittel.

3.1 Die drei Hauptfunktionen des Treibmittels

Das Treibmittel (Reingas oder Gasmischung) hat drei Hauptaufgaben.

- Erstens bildet es in der Dose in verflüssigter Form das Lösemittel für das zähe (hochviskose) Präpolymergemisch (einschließlich aller Additive).
- Zweitens erzeugt es in gasförmigem Zustand in der Dose den Druck, um das Präpolymer durch das Sprührohr auszutreiben.
- Drittens sorgt es für die Expansion des Präpolymers unmittelbar nach der Ausbringung und unterstützt die Aufblähung des Schaums durch Kohlendioxid.

Dazu kommt noch die Eigenschaft als Kühlmittel zur kurzfristigen Verfestigung des Schaums bis zum Reaktionseintritt. [8]

Das Treibmittel hat entscheidenden Anteil an der Bildung der Feinstruktur der fertigen Schaumzellen. Es bleibt aber nicht lange genug als Zellgas in den Poren des ausgehärteten Schaums, um die Dämmwirkung zu erhöhen. Anders als bei PU-Dämmplatten mit Deckschichten gasst das Treibmittel relativ rasch aus - in Abhängigkeit der Molekülgröße des Gases. So nimmt man für den HFKW-152a (wie auch für Propan oder Butan) sofortige und vollständige Ausgasung an, beim HFKW-134a (größeres Molekül) verbleiben schätzungsweise etwas mehr als 5 Prozent des Treibmittels, noch ein Jahr lang im Schaum. Spätestens danach besteht keinerlei spezifische Dämmwirkung durch HFKW mehr, so dass der Dämmaspekt des Treibmittels in der Praxis keine Rolle spielt.

Die drei für Montageschaum erforderlichen Funktionen Lösemittel, Austreibmittel und Expansionsmittel wurden bis in die 90er Jahre optimal durch FCKW und HFCKW (R-

22) erfüllt. Das traf auch noch zu, als ihnen begrenzte Mengen Kohlenwasserstoffe (Propan und Butan) beigemischt wurden. Der HFKW-134a, der die ozonschichtschädigenden Substanzen ablöste, kam in seinen Eigenschaften den bisherigen Treibmitteln sehr nahe. Die Hersteller konnten die gewohnte Schaumqualität weiterhin liefern und hatten vergleichbar wenig Mühe, ihre Rezepturen dem neuen Treibmittel (mit und ohne Kohlenwasserstoff-Zugabe) anzupassen.

Die Kontinuität galt auch für die Applikation des Schaums: Wie FCKW und HFCKW war auch der HFKW-134a nicht entzündlich und verlangte vom Anwender keine besonderen Vorsichtsmaßnahmen für Explosionsschutz.

Beides, der Formulierungsaufwand der Hersteller und die Sicherheitsanforderungen an den Anwender, stiegen allerdings in dem Maße, wie in der Folge der Gehalt von HFKW-134a im Treibmittelgemisch reduziert bzw. ganz aufgegeben wurde.

3.2 HFKW 134a ist kein Flammenschutzmittel

An dieser Stelle soll vor dem Missverständnis gewarnt werden, dass die Brennbarkeit oder Unbrennbarkeit des Treibmittels nicht nur die Applikationssicherheit bestimmen, sondern auch direkt das Brandverhalten des ausgehärteten Schaums. Es ist wichtig, beides auseinander zu halten.

Wie schon im Zusammenhang mit der Frage der Dämmwirkung erwähnt, verbleiben die Treibmittel nur in geringem Umfang und nur kurzfristig in den Schaumzellen. Sie wirken daher nicht flammhemmend auf den ausgehärteten Schaum, und der unbrennbare HFKW-134a reduziert nicht nachhaltig die Brennbarkeit des Schaums, wie umgekehrt Propan/Butan oder der HFKW-152a dessen Brandlast nicht erhöhen⁴.

Es ist zwar richtig, dass es für die Hersteller nicht einfach war (siehe 4. Kapitel), "normale" Entflammbarkeit (in Deutschland Baustoffklasse B2) ohne HFKW-134a zu erzielen und weiterhin die gewohnte Gesamtqualität des Schaums zu garantieren. Dies hing jedoch in erster Linie damit zusammen, dass das bisherige Präpolymer mit seiner spezifischen flammhemmenden Ausrüstung ganz an die chemisch-physikalischen Eigenschaften des HFKW-134a angepasst war. Der HFKW-152a und erst recht reine Kohlenwasserstoffe erforderten die komplette Umformulierung des Präpolymers einschließlich des Flammschutzes sowie der anderen Additive wie Stabilisatoren, Zellöffner usw., weil neue Treibmittel anderes Lösevermögen, andere Drücke und anderes Expansionsverhalten aufweisen – nicht weil sie brennbar sind.

Die Umstellung der Treibmittel war ein langjähriger aufwendiger Prozess, der aber, wie sich im nächsten Kapitel zeigt, erfolgreich verlaufen ist.

⁴ Die Formulierung "nicht nachhaltig" im Falle von HFKW-134a soll ausdrücken, dass eine minimale und kurzfristige Reduzierung der Brennbarkeit nicht auszuschließen ist. Das könnte sogar so weit gehen, dass beim Brandtest auf Baustoffklasse B2, der an vierzehn Tage altem Schaum durchgeführt wird, dieser Effekt noch minimal zum Tragen kommt. In diesem Falle wäre aber die Eignung dieses Tests für ein Produkt zu hinterfragen, das eine Lebensdauer von bis zu fünfzig Jahre haben muss.

4. Treibmittelumstellungen in der EU und in Deutschland seit 1990

Nachdem der HFKW-134a Anfang der 1990er Jahre großtechnisch verfügbar wurde, wurden ozonschicht-schädigende Treibmittel in PUR-Schaumdosen schrittweise ersetzt: zuerst in Skandinavien, dann in Deutschland und schließlich im übrigen Europa. Die europäischen Hersteller verzichteten ab 1.1.1992 auf FCKW-11 und -12, und ab 1.1.1996 auch auf HFCKW-22.

4.1 Erste Hälfte der 1990er Jahre: FCKW-Ausstieg und 50-Gramm-Regel

In Deutschland verbot die FCKW-Halon-Verbots-Verordnung die Herstellung (nicht Anwendung) von Montageschäumen mit HFCKW-22 (und mit FCKW) bereits ab 1.1.1993. [9] Der HFCKW-22 war Ende der 80er Jahre allgemeines Treibmittel in Europa geworden. Seine Menge pro Dose wurde in den fünf Jahren vor 1992 aber bereits stark reduziert, und zwar von 40% auf nur noch 15 bis 20%. [8] Im gleichen Zuge wurden dem unbrennbaren Gas immer mehr brennbare Kohlenwasserstoffe zugemischt, die wesentlich billiger waren.

Bereits Anfang der 90er Jahre, noch vor der Umstellung von HFCKW-22 auf HFKW-134a, diskutierten die führenden europäischen Abfüller in ihrer Organisation AKPU den Maximalgehalt brennbarer Gase im Treibmittelgemisch. [9] Da die Anwender den Umgang mit brennbaren Treibmitteln nicht gewohnt waren, sondern nur die Applikation mittels unbrennbarer Gase kannten, sollten Explosionen in engen Räumen ausgeschlossen werden. Die Hersteller einigten sich in einer freiwilligen Selbstverpflichtung des AKPU auf eine so genannte "50-Gramm-Regel". Diese besagte, dass eine standardisierte 750-ml-Dose nicht mehr als 50 Gramm Kohlenwasserstoffe und Ether enthalten solle. Bei Entleerung einer Dose in einem Zug sollte die untere Explosionsgrenze (UEG) eines 1,56 m³ großen Raums (UEG für Propan und Butan 31 bzw. 33 g/m³) unterschritten werden. [10]

Diese Regel galt unmittelbar für Propan und n-Butan, sie besagte aber auch, dass die erlaubte Menge von Stoffen mit höherer UEG größer als 50 Gramm pro 750 ml Füllmenge sein darf: z.B. bei Dimethylether 80 g und bei HFKW-152a sogar 158 g.

Diese Auslegung gestattete Formulierungen mit dem brennbaren Treibmittel HFKW-152a auch ganz ohne Zugabe des unbrennbaren HFKW-134a. Der HFKW-152a war auf dem Markt allerdings erst 1996 in ausreichender Menge verfügbar. [11]

4.2 Drei Wege der HFKW-Verwendung in der EU bis 2000

Im Hinblick auf die Treibmittel verlief in den 90er Jahren die Entwicklung in Europa nicht einheitlich. Es sind drei Wege zu unterscheiden.

Für den Markt in Skandinavien galt die 50-Gramm-Regel nicht. Dort waren Anfang der 90er Jahre bereits Dosen mit größeren Mengen von Kohlenwasserstoffen in Gebrauch, ohne dass Unfälle eintraten, so dass die europäischen Hersteller auf eine Begrenzung verzichteten, ohne Explosionen zu riskieren.

Im übrigen Europa außer Deutschland wurde nicht nur der Ausstieg aus HFCKW-22 relativ spät abgeschlossen (1995), sondern es wurde auch die 50-Gramm-Regel nicht lange befolgt. Bereits 1995/1996 setzten die Hersteller mit Verweis auf die sichere Praxis in Skandinavien mehr Kohlenwasserstoffe als HFKW ein. Im Jahr 2000 enthielten nur noch 20% der Dosen den HFKW-134a. [5]

In Deutschland bestanden zwar keine anderen Explosionsschutzanforderungen an die Ausbringung des Schaums als im übrigen Europa. Dennoch wurden hier bis zum Jahr 2000 keine Dosen ohne HFKW verkauft. [12] Die Ursache sind die besonderen deutschen Brandschutzanforderungen in Bezug auf den ausgehärteten Schaum. In Gebäuden sind "leicht entflammbare" Materialien (Baustoffklasse 3) nicht zugelassen, sondern sie müssen mindestens "normal entflammbar" (Baustoffklasse 2) sein.

Diese Bedingung war viele Jahre lang nicht ohne den Einsatz von HFKW zu erfüllen. Der Grund dafür war nicht, dass unbrennbare oder schwer brennbare Treibmittel den ausgehärteten Schaum selbst schwerer entflammbar machen, sondern die rezepturtechnologische Eignung von HFKW, insbesondere HFKW-134a, das brandresistentere Präpolymer (das mehr und teilweise andere Flammenschutzmittel enthielt), ohne Veränderung von Stabilität, Volumen und vor allem Zellstruktur des fertigen Schaums zu lösen, auszutreiben und zu expandieren.

Dabei gab es unter den entsprechenden Abfüllern wiederum zwei Gruppen.

Die eine, vertreten durch die Schweizer Gruppe Rathor, verwendete für B2-Schäume bereits ab 1995/1996 nahezu ausschließlich den HFKW-152a, mit dem, wie oben erwähnt, auch die 50-Gramm-Regel eingehalten werden konnte. [13]

Die anderen Hersteller setzten für die Baustoffklasse B2 weiterhin HFKW-134a ein.

Somit blieb es lange Zeit für den deutschen Markt bei HFKW-haltigen Treibmitteln, in erster Linie bei HFKW-134a. [14] Es ist zu beachten: Die 50-Gramm-Regel mit hohem Gehalt an unbrennbarem HFKW-134a wurde nicht in erster Linie wegen der Applikationssicherheit aufrechterhalten, sondern weil die Eigenschaften von gehärtetem B2-Schaum noch nicht von allen Herstellern ohne 134a angemessen erzielbar waren.

4.3 Verminderung des HFKW-Anteils auch in Deutschland bis 2002/2003

Im Zeitraum 1995-2002 wurden in Produkten für den deutschen Markt die HFKW zwar nicht ganz durch brennbare Gase ersetzt. Die HFKW-Menge pro 750-ml-Dose wurde jedoch kontinuierlich zugunsten brennbarer Gase gesenkt. [12]

Hierfür werden zwei Gründe verantwortlich gemacht. Erstens wirtschaftliche: Die Kosten von Propan/Butan machten nur etwa zehn Prozent des HFKW-Preises aus.

Zweitens Fortschritte in der Formulierung: Die Baustoffklasse B2 konnte mit immer größeren Anteilen von Kohlenwasserstoffen und DME im Gasmisch realisiert werden. Im Jahr 1995 betrug die HFKW-Menge pro 750-ml-Dose im Durchschnitt 100 g, im Jahr 2000 waren es noch 65 Gramm, zwei Jahre später sogar nur noch 40 Gramm. [15] Die 50-Gramm-Regel wurde praktisch nicht mehr eingehalten.

Der Herstellerverband AKPU trug dieser Entwicklung im Jahr 2002 insofern Rechnung, als dass er die 50-Gramm-Regel durch eine 100-Gramm-Regel ersetzte. Von 150 g Treibmittelgemisch pro 750 ml-Dose sollten mindestens 50 g HFKW-134a sein. Diese Regel wurde aber noch kürzer befolgt als die 50-Gramm-Regel.

Rückwirkend ist die Maßnahme als untauglicher Versuch einzuschätzen, den Prozess des HFKW-Ersatzes aufzuhalten. Ohnehin kamen dadurch die Sicherheitsaspekte, die der 50-Gramm-Regel zu Grunde lagen, nämlich das Unterschreiten der UEG in engem Raum ($1,56 \text{ m}^3$), nicht mehr zur Geltung.

4.4 Neue Spezialschäume ab 2002 zunächst nicht ohne HFKW-134a

Dennoch kam der Substitutionsprozess der HFKW vorübergehend zum Stillstand. Ursache war weniger der Verbandsbeschluss als vielmehr die zeitgleiche Markteinführung neuer Schaumspezifikationen: Brandschutzschaum, Winterschaum sowie Schaum mit höherer Ausbeute (Mega- oder Maxi-Schaum). Im Unterschied zum bisherigen Allzweck-Schaum erforderte deren Formulierung bei allen europäischen Herstellern den HFKW-134a, zunächst als ausschließliches Treibmittel, später als Zudosierung zu Kohlenwasserstoffen.

- Brandschutzschaum erfüllt nach Aushärtung die Baustoffklasse B1. Der hohe Gehalt an Flammschutzmitteln stellt besondere Anforderungen an das Treibmittel.

- Mega-Schaum bedeutet, dass bei unverändert großer Dose bis zu 60 und mehr Liter Schaum statt maximal 45 Liter möglich sind, bzw. mit kleinerer Dose das gleiche Schaumvolumen wie vorher erzielt werden kann. Das vermindert für den Anwender die Zahl der Dosenwechsel bei der Verarbeitung, bzw. erlaubt ihm das Arbeiten an schwer zugänglichen Stellen mit kleineren Dosen.

- Winterschaum ist nicht mehr von den bisherigen Mindesttemperaturen für Lagerung und Verarbeitung von etwa $+5^\circ\text{C}$ abhängig, sondern kann noch bei minus 5 bis 10°C appliziert werden. Damit ist in kälteren Regionen, insbesondere in Nord- und Nordosteuropa, die Verwendung von Montageschaum weniger eingeschränkt. Aber auch in Mitteleuropa kommt der Vorteil zur Geltung, etwa wenn über Nacht die Dosen im Bauwagen liegen u. dgl. Für den erforderlichen hohen Druck bei niedriger Temperatur sind HFKW besonders gut geeignet.

Diese drei Spezialschäume machen bei einzelnen Herstellern bis zu zwanzig Prozent der produzierten Dosen aus, entsprechend den klimatischen Bedingungen in ihren Absatzgebieten.

4.5 EU-Regulierung fluorierter Gase und HFKW-134a-Ausstieg ab 2002

Die Entwicklung seit 2002/2003 ist von der Erwartung und Vorbereitung auf die F-GaseV der EU geprägt. Alle Hersteller für den deutschen Markt bemühten sich, den HFKW-Gehalt pro Dose weiter zu senken. [15] Im Jahr 2002 kamen die ersten Allzweck-Schäume (B2) ganz ohne HFKW-Treibmittel auf den deutschen Markt. Innerhalb weniger Jahre waren alle auf dem deutschen Markt vertretenen Hersteller in der Lage, solche Produkte für Allzweck-Schaum anzubieten. Bei Winter- und Megaschaum (B2) sowie Brandschutzschaum (B1) dauerte die Umstellung länger.

Erst heute (Ende 2008) kann gesagt werden, dass in Deutschland kein PUR-Dosenschaum mehr angeboten wird, der nicht die Anforderungen der F-GaseV erfüllt. Diese schreibt nicht grundsätzlich HFKW-Freiheit vor, sondern verlangt in Art 2,5 nur, dass der "Gesamtwert des Treibhauspotenzials der Zubereitung" weniger als 150 beträgt. [1] Demzufolge darf das Treibmittel nicht nur ganz aus HFKW-152a (GWP 140) bestehen, sondern das Treibmittelgemisch ("Zubereitung") darf bis zu 11,5 Massenprozent HFKW-134a (GWP 1300) enthalten, wenn die anderen Gase kein nennenswertes Treibhauspotenzial aufweisen.

Bei durchschnittlich 18 Gewichtsprozent Treibmittel sind daher in einer 750 ml-Dose (Treibmittelgemisch 150 g) bis zu 17 g HFKW-134a erlaubt⁵. Es gibt Hersteller, die gegenwärtig von dieser Bestimmung Gebrauch machen.

4.6 Stand 2008: Kein Treibmittelgemisch mehr mit GWP über 150

Die Tabelle 6 gibt den Stand des deutschen Markts zum Jahresende 2008 wieder. In allen Schaumspezifikationen von mindestens Baustoffklasse 2 gibt es Produkte mit einem Treibhauspotenzial des Treibmittelgemischs unter 150, und zwar sowohl für die Darreichungsform Adapter (A) als auch Pistole (P).

Tabelle 6: Auf dem deutschen Markt angebotene Montageschaum-Spezifikationen der Baustoffklassen B2/B1 mit Treibmittel GWP < 150 Adapter und Pistole, Ende 2008										
Hersteller	1K Allzweck		1K Mega		1K Winter		2K Allzweck		1K-Brand. (B1)	
Debratec	A	P		P		P	A		A	P
Soudal	A	P	A	P		P	A		A	P
Rathor	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P
Henkel	A	P	A	P		P	A			P
Illbruck	A	P		P		P	A			P
Selena	A	P								
TKK	A	P	A	P	A		A		A	P
Kim Jarol.	A	P		P*		P*	A			P

* Von KimTec wird nicht je ein Winter- und ein Mega-Schaum angeboten, sondern ein kombinierter Winter-Mega-Schaum.

Die Allzweckschäume sind generell frei von HFKW-134a und HFKW-152a (1K und 2K) und werden von allen acht Herstellergruppen angeboten.

Von den sieben Anbietern von Megaschaum und Brandschutzschaum auf dem deutschen Markt erfüllen, eigenen (nicht in einem Labor überprüften) Angaben zufolge, fünf die F-GaseV ganz ohne HFKW, während ein Hersteller die F-GaseV dadurch erfüllt, dass er in Teilen seiner Produktion HFKW-152a verwendet und ein anderer Hersteller HFKW-134a beimischt.

Der achte Hersteller (Selena) bietet diese Schaumspezifikationen in Deutschland nicht an, der neunte Hersteller (Krimelte, Estland), der für alle Produkte den HFKW-152a einsetzt, ist nicht auf dem deutschen Markt vertreten.

⁵ Aufgrund der Möglichkeit, HFKW-134a in kleinen Mengen weiter zu verwenden, darf das von der PDR aus gebrauchten Dosen zurückgewonnene Treibmittel (TRIGAS) wieder zur Neubefüllung genutzt werden.

5. Sicherheitsaspekt I: Brandschutz nach Aushärtung

Für die Anwendungssicherheit von ausgehärtetem Montageschaum ist in erster Linie dessen Brandverhalten maßgeblich. Die entsprechenden Sicherheitsbestimmungen sind für Schaum innerhalb oder außerhalb von Gebäuden verschieden.

5.1 Die Baustoffklassen B1 und B2 für Gebäude

Für Montageschaum kommen nach DIN 4102 [16] drei Baustoffklassen in Frage: B3 (leicht entflammbar), B2 (normal entflammbar) und B1 (schwer entflammbar). Die Klasse A (nicht brennbar) kann von Montageschaum nicht erzielt werden. Über die Zuordnung zu B2 oder B1 entscheidet ein Brandtest bei einer Prüfanstalt. [17] B3-Schäume werden nicht geprüft. Sie werden in Deutschland kaum verkauft, da in Gebäuden leichtentflammbare Baustoffe nicht erlaubt sind.

Die Haupteinsatzgebiete von Montageschaum sind Gebäude, d.h. so genannte "bauliche Anlagen" im Sinne der Bauordnungen. Eingesetzte Materialien müssen mindestens "normalentflammbar" sein. Dies ergibt sich aus den Anforderungen der Musterbauordnung [18] oder der Bauordnungen der Länder, die die Verwendung leichtentflammbarer Baustoffe ausdrücklich verbieten⁶. Damit sind Montageschäume der Klasse B3 ausgeschlossen. Erlaubt sind nur Baustoffe von B2 aufwärts.

Baustoffklassen B3, B2, B1 und Brandschutzprüfung

In Gebäuden muss Montageschaum die Anforderungen der Baustoffklasse B2 nach DIN 4102-1 erfüllen.

Für die Prüfung zur Einstufung in die Baustoffklasse B2 werden die Proben mindestens 14 Tage bei Normalklima gelagert, bevor sie einer Flammenprüfung unterzogen werden. Diese gilt als bestanden, wenn bei keiner von fünf Proben die Flamme innerhalb von 20 Sekunden eine 150 mm-Marke erreicht (Beflammungsdauer: 15 Sekunden).

Bei der Prüfung zur Einordnung in die Baustoffklasse B1 (schwerentflammbar) wird der Brand eines Gegenstandes in einem Raum simuliert. Dabei müssen die Brandausbreitung gering und die Wärmeabgabe begrenzt sein. In der Praxis verknüpfen die Prüfanstalten die Vergabe der B1-Klasse für Montageschaum meist an bestimmte Anwendungsbedingungen, die sinngemäß lauten: Das gesamte Bauteil entspricht nur dann B1, wenn der Schaum zwischen festen mineralischen Stoffen (z.B. Beton) verwendet wird.

In die Klasse B3 werden alle brennbaren Baustoffe eingeordnet, die weder die Anforderungen der DIN 4102-1 für B1 noch B2 erfüllen.

Es gibt in Deutschland kein Gesetz, das über B2 hinaus schwer entflammbare Baustoffe (B1) vorschreibt. Die Anbieter von B1-Montageschäumen begründen deren

⁶ §17 (2) der Bauordnung NRW lautet: "Baustoffe, die nach Verarbeitung oder dem Einbau leichtentflammbar sind, dürfen bei der Errichtung und Änderung baulicher Anlagen sowie anderer Anlagen und Einrichtungen im Sinne des § 1 Abs. 1 Satz 2 nicht verwendet werden".

Notwendigkeit damit, dass Bauträger und Architekten immer wieder höhere Anforderungen als vorgeschrieben an den Brandschutz stellen. Eine Rechtsgrundlage für B1-Schäume gibt es nicht. [17] Auch technische Normen, die sie vorschreiben, konnten in dieser Studie nicht ermittelt werden.

Es ist zu fragen, ob in Deutschland aus Gründen des Brandschutzes die Ausnahmeklausel Anhang II F-GaseV fortbestehen muss, wonach Montageschaum mit Treibmitteln > GWP 150 aus Sicherheitsgründen zu gestatten ist.

Die Ausnahmeklausel hätte für die Anwendung in Gebäuden einen Sinn, wenn die Hersteller die diversen Spezifikationen ihrer B2-Produkte nicht ohne nennenswerte Zugabe von HFKW-134a (> 11,5% des Treibmittelgemischs) formulieren könnten.

Wie im vorhergehenden Kapitel (Tabelle 6) gezeigt wurde, wird Ende 2008 in Deutschland handelsüblicher PUR-Schaum der Baustoffklasse B2 in allen relevanten Spezifikationen und darüber hinaus sogar Schaum der Baustoffklasse B1 in ausreichender Menge mit Treibmitteln unterhalb GWP 150 angeboten.

Fazit: Aufgrund des ausreichenden Angebots von Montageschaum der Baustoffklasse B2 entfällt die stoffliche Grundlage, für Gebäude aus Gründen des Brandschutzes die Ausnahmeklausel der F-GaseVO aufrechtzuerhalten.

5.2 Brandschutzaufgaben außerhalb von Gebäuden

Die Bauordnungen einschließlich ihrer Brandschutzanforderungen für Baustoffe gelten für Gebäude im engeren Sinn. Davon ausgenommen sind nach § 1 (2) Musterbauordnung ausdrücklich folgende Bereiche:

1. Anlagen des öffentlichen Verkehrs einschließlich Zubehör, Nebenanlagen und Nebenbetrieben, ausgenommen Gebäude,
2. Anlagen, die der Bergaufsicht unterliegen, ausgenommen Gebäude,
3. Leitungen, die der öffentlichen Versorgung mit Wasser, Gas, Elektrizität, Wärme, der öffentlichen Abwasserentsorgung oder der Telekommunikation dienen,
4. Rohrleitungen, die dem Ferntransport von Stoffen dienen.

Außer im Falle des Bergbaus handelt es sich um Bereiche des Tiefbaus, und zwar vor allem um Straßen und Schienen sowie Ver- und Entsorgungsleitungen. Dass die Bauordnung hier nicht gilt, bedeutet nicht zwangsläufig, dass B3-Produkte eingesetzt werden dürfen. Es bedeutet vielmehr, dass die Klassifikation des Baumaterials in B3, B2 und B1 (nach DIN 4102) hier nicht angewendet wird. [19]

Die Suche nach einschlägigen Brandschutzvorschriften für das Baumaterial Montageschaum in solchen Bereichen, die wir als kritisch vermuteten, führten zu dem Resultat, dass aus Gründen des Brandschutzes keinerlei Bedenken gegenüber brennbarem Schaum bestehen, sei er leicht, normal oder schwer entflammbar.

- Straßenbau. Es gibt nicht einmal für den Tunnelbau Sicherheitsauflagen für brennbare Baustoffe [20], daher auch nicht für Montageschaum.

- Ver- und Entsorgungsleitungen für Wasser, Abwasser, Gas und Strom. Hier bestehen keine Normen oder anderen Bestimmungen, die die Verwendung von Kunststoffen einschränken. Montageschaum wird hier ohnehin nicht benutzt. [21]
- Selbst bei Fernwärme-Rohrleitungen, die mit Kunststoffen gedämmt sind (innen mit PUR, außen mit PE), gibt es keine Brandschutzauflagen [22]; lediglich innerhalb von Gebäuden (z. B. Fahrstuhlschacht) wird mitunter die brennbare Kunststoffummantelung entfernt. Das verlangt aber schon die Bauordnung.

Unterschiedliche Brandschutzanforderungen an identische Anwendungen innerhalb bzw. außerhalb von Gebäuden gibt es z. B. beim Bau von Brunnen oder Abwasserkanälen, wozu so genannter Brunnenschaum (wasserbeständiger als anderer Montageschaum) eingesetzt werden kann. Werden Schachtringe oder Einstiegsschächte im Keller oder anderen Teilen eines Gebäudes abgedichtet, muss der Montageschaum B2 (Bauordnung) erfüllen. Bei gleichartiger Arbeit außerhalb von Gebäuden kann beliebiger Montageschaum verwendet werden, also auch B3⁷.

- Im Fahrzeugbau, wo für Dämmaufbauten von Kühlfahrzeugen auch Montageschaum verwendet wird (zum Abdichten von Wärmebrücken), gibt es keine Anforderung an verminderte Brennbarkeit von Kunststoffen. [23]

Lediglich im Untertage-Bergbau sind generell Stoffe verboten, die "brennbar sind und zugleich einen Brand selbsttätig weiterleiten"⁸ und ferner zu einer wesentlichen Erhöhung der Brandlast führen. "Feste Kunststoffbetriebsmittel", d. h. auch Montageschäume nach Aushärtung, sind daher im Bergbau verboten, allerdings unter bestimmten Einsatzbedingungen und Mengenbegrenzungen im Nichtkohlenbergbau (Salz, Erz, Steine-Erden) erlaubt. Im Steinkohlenbergbau gelten besondere brandtechnischen Anforderungen, die wir hier nicht anführen. Denn in der Praxis untertage ist nicht die Brandgefahr nach Aushärtung das Problem, sondern die Explosionsgefahr bei der Anwendung. Siehe dazu das folgende Kapitel.

Fazit: Offenkundig gibt es außerhalb von Gebäuden für ausgehärteten Montageschaum keine Brandschutzanforderungen, die seine Verwendung einschränken.

⁷ Es gibt in Deutschland kein allgemeines Verwendungsverbot für B3-Montageschaum. Er darf lediglich nicht in Gebäuden eingesetzt werden, weder vom Handwerker noch vom Heimwerker. Allerdings ist die Anwendung außerhalb von Gebäuden quantitativ nicht relevant.

⁸ Das Brandverhalten von festen Kunststoffbetriebsmitteln für Verwendung unter Tage wird in Anlehnung an DIN 22100, Teile 1-7, geprüft. [24]

6. Sicherheitsaspekt II: Explosionsschutz bei Anwendung

Die Frage nach nationalen Sicherheitsstandards für Montageschaum ist heute in Gebäuden nicht mehr relevant, was das Brandverhalten ausgehärteten Schaums betrifft. Sie stellt sich aber seit etwa 1990 (50-Gramm-Regel) immer noch für die unmittelbare Anwendung des Schaums, wenn aus der Dose hochentzündliche Gase⁹ und damit gefährliche Stoffe¹⁰ freigesetzt werden. Dadurch werden Arbeitsschutz und Gesundheitsschutz der Anwender berührt.

6.1 Allgemeine Regeln für den Umgang mit Gefahrstoffen

Der Umgang mit Gefahrstoffen ist in Deutschland allgemein durch das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [25] geregelt. Das gilt auch für entzündliche Stoffe.

Das ArbSchG ist seinerseits Rechtsgrundlage für die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) [26] mit ihren zahlreichen Regelwerken zur Bewertung von Gefährdungen und geeigneten Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik (technische Regeln für Betriebssicherheit - TRBS).

Das ArbSchG ist (zusammen mit dem Chemikaliengesetz) auch Rechtsgrundlage für die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [27] zum Schutz der Beschäftigten. Sie schreibt u. a. die Aufstellung technischer Regeln zum Umgang mit Gefahrstoffen (TRGS) sowie von Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW) vor. Eine ihrer zentralen Bestimmungen betrifft die Gefahrstoffinformation durch das Sicherheitsdatenblatt (SDB).

In der Praxis spielt das SDB eine besondere Rolle. Der zur Gefährdungsbeurteilung verpflichtete Unternehmer bzw. sein Arbeitsschutzbeauftragter findet hier die wichtigen Informationen für den Umgang mit Gefahrstoffen konzentriert vor: auftretende Gefährdungen, Erste-Hilfe-Maßnahmen, Maßnahmen zur Brandbekämpfung, Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung, Angaben zur Handhabung und Lagerung, Angaben zur Expositionsbegrenzung und den persönliche Schutzausrüstungen, Angaben zur Toxikologie, Vorschriften wie R- und S-Sätze.

Grundsätzlich gilt in Deutschland für die Anwendung von Montageschaum mit hochentzündlichen Treibmitteln, wo auch immer sie durchgeführt wird, die Einhaltung der BetrSichV und GefStoffV als ausreichend. Das Arbeitsschutzrecht verbietet derartige gefährliche Stoffe nicht, sondern regelt den möglichst sicheren Umgang mit ihnen.

⁹ Als hochentzündlich (Symbol F+, Risikosatz R12) werden nach Richtlinie 67/548/EWG eingestuft:

- Flüssigkeiten, die einen Flammpunkt unter 0 °C und einen Siedepunkt unter 35 °C haben,
- Gase, die bei Raumtemperatur und Normaldruck in Mischung mit Luft einen Explosionsbereich haben.

¹⁰ In dieser Studie werden in Zusammenhang mit der Schaumausbringung andere Gefahrstoffe als die Treibmittel (etwa Isocyanate) nicht untersucht.

6.2 Besonderheiten von Tiefbau und Schiffbau

Nachfolgend wird untersucht, ob es Anwendungsbereiche gibt, wo die grundsätzlichen Arbeitsschutzregelungen nicht ausreichen, sondern durch Sicherheitsnormen ergänzt werden, die nationale Sicherheitsstandards im Sinne Anhang II der F-GaseV sind.

Zu Beginn der Studie vermuteten Branchenexperten drei Bereiche als ev. kritisch für die Anwendung entzündlicher Treibgase. Die Bereiche sind durch enge Räume ohne normale Durchlüftung gekennzeichnet, so dass nicht auszuschließen ist, dass bei Entleerung einer Dose in einem Zug die UEG erreicht wird: Tunnelbau, Schiffbau, Bergbau.

6.2.1 Tunnelbau

Im Tunnelbau wird ab und zu Montageschaum eingesetzt, um Risse im Beton zu verpressen und Hohlräume hinter Beton abzudichten. Unfälle durch entzündliche Gase aus Montageschaumdosen sind nicht bekannt.

Die Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft in Stuttgart [20], die für ganz Deutschland Gefährdungsanalysen des Tunnelbaus durchführt, hebt als Besonderheit im Tunnel die Druckluftbedingungen hervor. Bei der Bauweise mit Vortriebsmaschinen, aber auch bei konventioneller bergmännischer Bauweise kommt es zu Drücken über 3 bar, bei denen sich die Partialdrücke entzündlicher Gasen verändern. Zündfähige Konzentrationen aus der Anwendung von Montageschaum weisen dadurch andere Unter- und Obergrenzen auf als unter Normalbedingungen.

Dieser Umstand muss in die Gefährdungsbeurteilung des Unternehmers einfließen. Aber es gibt im Tunnelbau keine spezifischen Gefahrstoffregelungen für die Anwendung entzündlicher Arbeitsmittel, die über die GefStoffV und die BetrSichV hinausgehen. Brennbare Stoffe sind nicht verboten, sondern die entsprechenden Hinweise im Sicherheitsdatenblatt sind genau zu befolgen, insbesondere diejenigen zum Brand- und Explosionsschutz im Abschnitt "Handhabung und Lagerung".

In der Praxis wird handelsüblicher B2-Schaum (unabhängig vom Treibmittel) eingesetzt.

6.2.2 Schiffbau

Ein Experte aus einem führenden Unternehmen für die Abfüllung von Montageschaum erinnerte sich an eine – mehrere Jahre zurückliegende - Anfrage einer großen Passagierschiff-Werft nach Dosenschaum mit nicht entzündlichen Treibmitteln. Es sei geplant gewesen, im Schiffsrumpf die Abschottung von Brandschutzwänden, die bisher mit Gummi erfolgte, durch PUR-Schaum vorzunehmen.

Der Arbeitsschutzbeauftragte der Werft [28] erklärte uns, dass es damals bei der Anfrage geblieben ist und auf der Werft kein besonderer Montageschaum außer handelsüblichem verwendet wird. Es gebe weder auf dieser Werft noch sonst im

deutschen Schiffbau Bestimmungen für Gefahrstoffe, die über die allgemeine GefStoffV und die BetrSichV hinausgehen. Die Einhaltung beider Gesetze reiche aus.

6.3 Besonderer Explosionsschutz im Bergbau

Im Untertage-Bergbau herrschen erschwerte Bedingungen für die Anwendung entzündlicher Stoffe. Die Räume sind eng, es gibt keine direkte Außenluftzufuhr und keine schnellen Fluchtwege nach draußen. Besonders im Steinkohlenbergbau, wo methanhaltiges Grubengas unter Tage eine explosionsgefährdete Atmosphäre bilden kann, sind hochentzündliche Arbeitsmittel riskant.

Montageschaum wird im Steinkohlenbergbau eingesetzt, und zwar vor allem in Bohrlöchern. Zum Schutz vor "Gebirgsschlägen" und vor Zutritt explosionsgefährlichen Grubengases werden Bohrlöcher in die Kohle bzw. ins angrenzende Nebengestein gestoßen zur Vorerkundung, zur gezielten Absaugung von Grubengas oder zur Entspannung des Gesteins. Zur Abdichtung der Ringräume¹¹ von Bohrlochsverrohrungen bzw. zur Verdämmung nicht mehr benötigter Bohrlöcher (die sonst den Zutritt von Grubengas in den Luftstrom begünstigen würden) werden Einkomponentenschäume eingesetzt. [29]

6.3.1 Die Zulassungspflicht nach Gesundheitsschutz-Bergverordnung

Die allgemeine GefStoffV und die BetrSichV werden vom Gesetzgeber nicht als ausreichend für den Gesundheitsschutz unter Tage betrachtet. Darüber hinaus gehende bergbauspezifische Regelungen für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen enthält die Gesundheitsschutz-Bergverordnung (GesBergV). [30] Dieser zufolge dürfen Gefahrstoffe nur mit einer besonderen bergbaulichen Zulassung eingesetzt werden.

In § 4 GesBergV heißt es, dass Beschäftigte mit "Stoffen, soweit ihr Umgang ... zu einer wesentlichen Erhöhung der Explosions- oder Brandgefahr führt", nur umgehen dürfen, wenn sie von der "zuständigen Behörde auf Grund einer ... Prüfung allgemein zugelassen worden sind".

Die für die Zulassungen "zuständige Behörde" für den gesamten deutschen Bergbau ist die Bezirksregierung Arnsberg in Nordrhein-Westfalen. Sie holt Prüfgutachten ein, entscheidet auf ihrer Basis über die Zulassung und veröffentlicht eine "Sammelliste der allgemeinen Zulassungen" [31], wo die Produkte nach Hersteller, Handelsname, Gebindegröße usw. aufgeführt werden. Nur Produkte aus dieser (öffentlich zugänglichen) Liste dürfen im Bergbau verwendet werden. [32] Zu den zulassungsbedürftigen Gefahrstoffen zählt die GesBergV u. a. "flüssige Kunststoffe" und damit Montageschaum. Die Bezirksregierung lässt diese in der Regel auf Antrag des Herstellers vom Hygiene-Institut des Ruhrgebiets, Gelsenkirchen, prüfen [33] und veröffentlicht sie dann in der "allgemeinen Sammelliste".

Da sich für Hersteller die hohen Zulassungsgebühren nur bei größeren Stückzahlen lohnen, wurde 2004 für Produkte mit "geringem Jahresbedarf" eine weniger aufwendige Lösung gefunden. [34] Auf Grund von Rahmenzulassungen benötigen so genannte Kleingebinde keine Einzelzulassung, wenn sie jährlich pro Bergwerk nur in einer Stückzahl unter 250 verwendet werden. Genauer gesagt: wenn von ihnen pro Arbeitstag (250 pro Jahr) nur ein einziges Gebinde der zugelassenen Größe (z. B. 750 ml) verbraucht wird. Auch die Kleingebindeliste [35] ist im Internet veröffentlicht.

¹¹ Als Ringraum wird der Hohlraum zwischen Rohr und Innenwand eines Bohrlochs bezeichnet.

6.3.2 Die zugelassenen Montageschäume im deutschen Bergbau

Beide Zulassungs-Sammellisten der Bezirksregierung Arnsberg enthalten Montageschaum-Produkte. In der allgemeinen Liste kommen sie zwischen den lfd. Nummern 151 bis 165 vor. In der Kleingebindeliste sind es die lfd. Nummern 17 bis 21 der "Stoffhauptgruppe 5" (Fugen-Dichtungen).

- Die Montageschäume auf der Kleingebindeliste*

Tabelle 7: Auszug aus der Kleingebindeliste, Blatt 18 und 19 (Stand 03.04.2008), Zulassungsdatum: 14.01.2004				
Lfd. Nr.	Produktname	Hersteller	Gebindegröße	Az. Hygieneinstitut
17	Rapidschaum 750/1000 (B2)	Hanno-Werk, A-Himberg b. Wien	0,75	A-106770-03-To
18	PUR-Schaum	Heidelberger Baustofftechnik, Traunreuth	0,75	A-106770-03-To
19	Polyurethan-Montageschaum	Heidelberger Baustofftechnik, Traunreuth	0,5	A-106770-03-To
20	Pistolenschaum NBS	Paso Chem. Techn. Produkte, Münster	0,7	A-106770-03-To
21	Montageschaum BÜKA 2-K-PU Alpha Duo	BÜKA-Chemie, Erdmannshausen	0,6	A-106770-03-To

* Bezirksregierung Arnsberg: Sammelliste für Gefahrstoffe in Kleingebinden [35]

Ergebnisse der Herstellerbefragung für diese Produkte:

Lfd. Nr. 17: Das Hanno-Werk erklärt am 14.10.2008, der am 14.1.2004 noch zugelassene 2K-Rapidschaum sei nicht mehr im Angebot, sondern durch 2K Tempo ersetzt, der keine HFKW enthält; denn in Österreich ist die Abfüllung und Vermarktung von Schaum mit HFKW seit 2006 verboten. Der Rapidschaum habe 2004 noch HFKW-134a enthalten, aber nur als Zusatz zu Propan/Butan/DME.

Lfd. Nr. 18 und 19 (Unterschied nur in der Gebindegröße): Die Heidelberger Baustofftechnik heißt seit 2004 Compact Technology GmbH, weiterhin in Traunreuth. Der Handelsname ist jetzt Kompakta, die Rezeptur des Schaums ist aber seit 2004 unverändert. [36] Er wird, so die Auskunft der Verkaufsabteilung, im Salzbergbau von Kali+Salz verwendet. Die Abfüllung erfolgt bei Illbruck in NL. Das Treibgas enthielt bereits 2004 keine HFKW, nur Propan, Butan, DME (je 2,5-10%).

Lfd. Nr. 20: Paso gehört seit 2006 zur Bostik GmbH, der Standort Münster ist aufgelöst zugunsten von Borgholzhausen. Der Laborleiter erklärt auf Grund des SDB von 2003, dass damals HFKW-134a ein Zusatz zum brennbaren Gemisch Propan/Butan/DME war. [37] Die Abfüllung erfolgte in der Schweiz bei Rathor, wo auch der neue, HFKW-freie Pistolenschaum NBS abgefüllt wird.

Lfd. Nr. 21: BÜKA heißt seit 2008 DEBRATEC und produziert in Schwepnitz. Die Laborleiterin erklärt, dass noch 2005 der HFKW-134a den brennbaren Treibgasen zugesetzt wurde. [38] Treibgaszusammensetzung: < 15% Tetrafluorethan, < 10% Isobutan, < 3% Dimethylether, < 6% Ethandiol. Das Nachfolgeprodukt 2-K Alpha Duo hat ein Treibgasgemisch mit GWP < 150.

Auf der aktuellen **Kleingebindeliste** sind vier verschiedene Montageschäume mit Zulassungsdatum 14.01.2004. Drei der vier Produkte werden nicht mehr eingesetzt, ihre Zulassung besteht aber noch bis zur nächsten Aktualisierung fort. Zum Zeitpunkt der Zulassung war in keinem Produkt das Treibgas reiner HFKW-134a und damit unbrennbar; alle enthielten brennbare, entzündliche Gase. In dem einzigen Fall, in dem das zugelassene Produkt noch heute angewendet wird (Kompakta bzw. Heidelberger Baustofftechnik) war der Schaum bereits 2004 ganz HFKW-frei.

Daraus folgt, dass bei Kleingebinden die Sicherheitsnormen des Bergbaus die Verwendung unbrennbarer Treibmittel nicht verlangen.

Anders ist es aber bei Produkten auf der **allgemeinen** Sammelliste.

- Die Montageschäume auf der allgemeinen Sammelliste*

Lfd. Nr.	Produktname	Hersteller	Zulassungsdatum	Gebinde
162	PU 1-K-Polyurethanschaum Geofix, Geofix Gold	Schaum-Chemie Wilhelm Bauer GmbH & Co. KG, Essen	06.03.2006	Druckgaspackungen aus Weißblech bis zu 0,75 l Inhalt
165	1-K-Polyurethan-Kunstharzschäume CARBOFIX, CARBOFIX DKD	Minova Carbo Tech GmbH, Essen	27.04.2006	Druckgaspackungen aus Weißblech bis zu 1 l Inhalt
151	1-K-Polyurethanschaum. Volumax schwerentflammbar	Zeißig GmbH & Co. KG, Mülheim (Ruhr)	21.10.2005	Kunststoff zu 1 l Inhalt

* Bezirksregierung Arnsberg: Sammelliste der allgemein zugelassenen Stoffe.

Ergebnisse der Herstellerbefragung für diese Produkte:

Lfd. Nr. 162: Nach Auskunft der Schaum-Chemie [39] und nach den Angaben des SDB enthält dieser Montageschaum als Treibmittel nur HFKW-134a, keine brennbaren Gase. Die Rezeptur ist seit der ersten Zulassung nicht geändert worden. Sie bestand schon viele Jahre vor 2006 für GEOFIX, sie musste nur deshalb erneuert werden, weil die Darreichungsform für das nun GEOFIX GOLD genannte Produkt geändert wurde. Der Abfüller ist Hago in Landsberg, Rathor-Gruppe.

Lfd. Nr. 165: Gemäß Minova [40] erfordert der Einsatzzweck sichere Applikation, weshalb CARBOFIX als Treibmittel nur HFKW-134a enthält. Die Rezeptur ist seit Erstzulassung nicht geändert worden, sondern 2006 für CARBOFIX DKD erneuert worden. Es ist das gleiche Produkt wie Nr. 162, vom selben Abfüller (Hago). Die DSK kauft von beiden Herstellern. Die DSK (zur Ruhrkohle AG gehörig) ist Eigentümerin sämtlicher noch fördernden deutschen Zechenunternehmen im Steinkohlenbergbau.

Lfd. Nr. 151: Laut Hersteller Zeißig [41] handelt es sich nicht um Montageschaum mit Treibmittel in der Dose, sondern um ein treibgasloses 1K-Produkt in Kunststoffgebilde. Die Schaumreaktion erfolge mit CO₂, das sich aus Wasserzugabe bildet. Die Firma legt Wert auf die Feststellung, dass das Produkt Volumax im Steinkohlenbergbau zeitlich vor Montageschaumdosen im Einsatz war. Zur Ringabdichtung der Rohre, die Grubengas ableiten sollen, werde immer noch mehr Volumax genommen, für die Abdichtung von Bohrlöchern mehr Montageschaum. Volumax könne im Prinzip den Dosenschaum ersetzen.

In der **allgemeinen** Sammelliste der zugelassenen "flüssigen Kunststoffe" für den untertägigen Bergbau befinden sich zwei produkt-identische Montageschäume, deren Treibmittel ausschließlich aus dem unbrennbaren HFKW-134a besteht. Ihr Verwendungszweck ist (in einem Zusatz) definiert mit Ringraum- und Hohlraum-Abdichtung von weniger als 400 cm² Oberfläche. Das Produkt wird im Steinkohlenbergbau verwendet, die Hersteller schätzen die jährliche Einsatzmenge auf maximal 10.000 Dosen für beide Produkte zusammen.

6.3.3 Das Verbot entzündlicher Treibgase im Steinkohlenbergbau

Die zuständige Behörde, die Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW, erläutert den Unterschied zwischen Produkten auf der Kleingebindeliste und denen auf der allgemeinen Sammelliste wie folgt. [42]

- Produkte ohne Einzelzulassung (Kleingebinde)

Das Gefährdungspotenzial von Kleingebinden mit weniger als 250 Dosen pro Jahr ist gering, so dass die Angaben des Sicherheitsdatenblatts (auf Basis einer Rahmenezulassung) für eine Zulassung ausreichen und kein Prüfgutachten beim Hygiene-Institut eingeholt wird. In einer Nebenbestimmung der Rahmenezulassung für diese Produkte wird allerdings die Verwendung im Steinkohlenbergbau ausgeschlossen. Der Montageschaum auf der Kleingebindeliste wird im Salzbergbau eingesetzt. Das ist möglich, weil dort nicht so hohe Explosionsrisiken wie im Steinkohlenbergbau bestehen. Montageschäume auf der Kleingebindeliste mit der Kennzeichnung F+ dürfen im Bergbau außerhalb des Steinkohlenbergbaus verwendet werden, aber ausdrücklich nicht Bergbau für Steinkohle.

Weiter heißt es in der Stellungnahme wörtlich (Wortlaut kursiv):

Aufgrund der Grundsatzregelungen zu den Rahmenezulassungen sowie der Zuordnung dieser Montageschäume in Tabelle 7 dieser Studie zur Stoffuntergruppe 5.1 gelten für die letzteren Montageschäume folgende Einschränkungen:

1. Diese Produkte dürfen wegen des Flammpunkts des Treibmittels $\leq 55 \text{ °C}^{12}$ nicht im Steinkohlenbergbau eingesetzt werden.

2. Der Inhalt eines Einzelgebindes darf grundsätzlich 5 kg nicht überschreiten (wird von den Druckgaspackungen immer erfüllt).

3. Die Gesamtverwendungsmenge je Bergwerk und Jahr darf 250 Einzelgebinde nicht überschreiten (ein Unternehmen mit 10 Bergwerken darf daher max. 2500 Gebinde p. a. verbrauchen, bei 0,75 kg Gebindeinhalt entspricht dies 1,875 t p. a.).

Der der Bezirksregierung Arnsberg von den Bergbauunternehmen gemeldete Gesamtbedarf der Produkte aus Tabelle 7 liegt bei ca. 1.3 t p. a. bundesweit.

- Produkte mit Einzelzulassung

Für den Steinkohlenbergbau kommen nur die in Tabelle 8 dieser Studie gelisteten Produkte infrage. Die unter lfd. Nr. 162 und 165 geführten Produkte enthalten als Treibmittel den nicht brennbaren HFKW-134a. Der maximale Gesamtverbrauch der Druckgaspackungen wird von den Herstellern auf insgesamt 10.000 Dosen bundesweit abgeschätzt.

¹² Anm. Öko-Recherche: Nach Richtlinie 67/548/EWG sind "entzündlich" flüssige Stoffe und Zubereitungen, die einen Flammpunkt von mindestens 21 °C und höchstens 55 °C haben (Risikosatz R10).

In den branchenspezifischen Bergverordnungen der Bundesländer werden Verbote betreffend des Einsatzes von brennbaren Flüssigkeiten mit Flammpunkt ≤ 55 °C ausgesprochen (vgl. auch Regelungen der Prüfbestimmungen für Stoffe nach § 4 GesBergV [43]):

1. Nach § 13 Abs. 2 der Bergverordnung für den Steinkohlenbergbau (BVOST) NRW [44] sind solche Produkte für den Steinkohlenbergbau unter Tage ausnahmslos verboten. Im Saarland, dem einzigen weiteren Bundesland mit Steinkohlenbergbau ist durch eine ähnliche Bergverordnung Entsprechendes geregelt.

2. Dagegen ist nach § 22 Abs. 1 der Bergverordnung für die Erzbergwerke, Steinsalzbergwerke und für die Steine-Erden-Betriebe (BVOESSE) NRW [45] das Verbot mit einer Ausnahmemöglichkeit verbunden, von dem bei den Montageschäumen auch Gebrauch gemacht wird.

Die Stellungnahme schließt mit folgenden Bemerkungen.

Der Einsatz der Montageschäume im Steinkohlenbergbau dient dort grubensicherheitlichen Zwecken des Brand- und Explosionsschutzes: Mit der Ringraumabdichtung wird die Wirksamkeit gezielter Grubengasabsaugung unterstützt. Mit der Bohrlochabdämmung wird einerseits der Grubengaszustrom in den Wetterstrom (Luftstrom der Zwangsbelüftung der Grubenbaue) aus nicht mehr benötigten Bohrlöchern verhindert. Andererseits wird damit die Wegigkeit für Luftzustrom in das Kohlenflöz über das Bohrloch verschlossen, womit das Risiko von Selbstentzündungsbränden der Kohle vermindert wird.

Darum ist eine Ausnahmeregelung für den Steinkohlenbergbau, Montageschäume mit dem nicht brennbaren Treibgas HFKW-134a weiterhin einsetzen zu dürfen, unverzichtbar.

6.3.4 Zusammenfassung für den Bergbau

Auf Grund der Bestimmungen der Gesundheitsschutz-Bergverordnung benötigen Montageschäume im deutschen Bergbau eine behördliche Zulassung.

Montageschaum mit brennbaren Treibmitteln darf zwar im Bergbau eingesetzt werden, aber nicht im explosionsgefährdeten Steinkohlenbergbau. Hier ist wegen des hohen Risikos die Verwendung von Stoffen mit Flammpunkt < 55 °C gesetzlich verboten.

Im deutschen Steinkohlenbergbau werden jährlich bis zu 10.000 Dosen 1K-Montageschaum mit unbrennbaren Treibmitteln (reiner HFKW-134a) eingesetzt.

Die eingesetzte Menge von HFKW-134a beträgt maximal 1,5 metrische Tonnen, das Treibhauspotenzial beträgt bis zu 1.950 t CO₂-Äquivalente¹³.

¹³ Zum Vergleich: Der gesamte Beitrag zum Treibhauseffekt durch HFKW-Treibgase von Montageschaum betrug im Jahr 1998 in Deutschland 1,5 Mio. t CO₂-Äquivalente.

6.4 Die einzige nationale Sicherheitsnorm von Belang

Die Untersuchung hat gezeigt, dass es schwierig gewesen ist, Montageschaum ohne HFKW-haltige Treibgase zu formulieren, der die Brandschutznormen für Gebäude erfüllt. Seit aber alle auf dem deutschen Markt vertretenen Hersteller Schaum in jeder marktgängigen Spezifikation ohne HFKW für die Baustoffklasse B2 anbieten, stellen Brandschutznormen keinen Grund mehr dar, HFKW-134a in Montageschaum beizubehalten - weder innerhalb noch, wie gezeigt, außerhalb von Gebäuden.

Während Brandschutz ausgehärteten Schaum betrifft, besteht Explosionsschutz in Vorsichtsmaßnahmen gegen entzündliche Gase, die bei der unmittelbaren Anwendung des Schaums freigesetzt werden. Die deutsche Arbeitsschutzgesetzgebung regelt den Umgang mit explosionsfähigen Gefahrstoffen, verbietet diese aber nicht. Generell gilt sie als ausreichende Sicherheitsnorm für die Applikation von Montageschaum mittels entzündlicher Kohlenwasserstoffgase.

Es gibt nur eine Ausnahme, nämlich den Steinkohlenbergbau unter Tage. Hier ist wegen des hohen Explosionsrisikos die Verwendung von Stoffen mit Flammpunkt $< 55\text{ °C}$ gesetzlich verboten. Der dort behördlich zugelassene Montageschaum, der jährlich im Umfang von etwa 10.000 Dosen eingesetzt wird, enthält ausschließlich unbrennbare Treibmittel, nämlich reinen HFKW-134a. Die dadurch verursachten klimarelevanten Emissionen betragen jährlich bis zu 2.000 t CO₂-Äquivalente.

Das Verbot entzündlicher Gase im Bergbau bzw. Steinkohlenbergbau ist die einzige "nationale Sicherheitsnorm", welche nach Anhang II F-GaseV den Einsatz von Montageschaum mit Treibmitteln $> \text{GWP } 150$ erfordert.

7. Sonderfall: Isocyanatfreier Montageschaum mit HFKW-134a

Die 30. Anpassung (ATP: Adaptation to Technical Progress) der EU-Richtlinie 67/548/EWG für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe an den technischen Fortschritt in den Mitgliedsstaaten [46] wurde bereits am 15.09.2008 veröffentlicht. Dem Anhang 1 zufolge wird 4,4'-

Methylendiphenyldiisocyanat (MDI) in die Kategorie 3 der krebserzeugenden Stoffe (Carc. Cat 3) eingestuft, und die Verpackung muss mit dem Gefahrenhinweis R40 "Verdacht auf krebserzeugende Wirkung" gekennzeichnet werden, wenn die Konzentration von MDI mehr als 1% beträgt.

Mit dem Inkrafttreten der EG-GHS-Verordnung (Nr. 1272/2008) wurde jedoch zum 20.01.2009 der Anhang I der EG-Richtlinie 67/548/EWG aufgehoben, weshalb die rechtliche Stellung der 30. ATP unklar erscheint. Die im Anhang I ehemals vorhandenen Legaleinstufungen wurden als Tabelle 3.2 in den Anhang VI der EG-GHS-Verordnung aufgenommen, ohne dass die Änderungen der 30. ATP berücksichtigt wurden. Die EU-Kommission hat mitgeteilt, dass sie in der ersten Hälfte 2009 die Inhalte der 30. ATP und der 31. ATP im Rahmen einer ersten Anpassungsverordnung in den Anhang VI der EG-GHS-Verordnung aufnehmen will. Die neue Einstufung von MDI wird also erst nach Aufnahme in den Anhang VI der EG-GHS-Verordnung rechtlich verbindlich.

Quelle: Bek. des BMAS vom 6.2.2009 – IIIb 3 – 35122 –

7.1 Selbstbedienungsverbot für isocyanathaltigen Schaum ab Juni 2009

Bei der Anwendung handelsüblichen Montageschaums, bei dem die reaktiven Isocyanate nie vollständig polymerisieren, wird die Konzentration von 1% MDI (freie Isocyanate) überschritten. Folglich müssen alle PUR-Schaumdosen mit dem Gefahrenhinweis R 40 gekennzeichnet werden.

In Deutschland schreibt die Chemikalien-Verbotsverordnung (§ 3 und § 4) vor, dass Zubereitungen, die mit R 40 zu kennzeichnen sind, im Einzelhandel nicht durch Selbstbedienung verkauft werden dürfen¹⁴. [47] Damit soll der unerfahrene Anwender vor den Gesundheitsgefahren geschützt werden. Das bedeutet, dass ein Selbstbedienungsverbot für handelsüblichen Montageschaum kommen wird. Dadurch fällt der Verkauf in Baumärkten in der bisherigen Form weg. Die Hersteller stellen sich darauf ein, dass ihre Produkte in verschlossenen Vitrinen ("hinter Glas") angeboten werden müssen und befürchten Umsatzeinbußen auf Grund dieser Beschränkung. Mögliche Verkaufsrückgänge treffen wirtschaftlich vor allem diejenigen Hersteller, die einen großen Teil ihrer Produktion in Heimwerkermärkten absetzen.

Bereits vor einigen Jahren haben große europäische Hersteller Dosenschaum mit weniger als 1% flüchtigen Isocyanaten bei Applikation ("isocyanatfrei") entwickelt. Der politische Druck kam von Baufirmen aus Schweden, welche im Falle von Isocyanat-Exposition ihrer Mitarbeiter die in ihrem Land vorgeschriebenen

¹⁴ Das Selbstbedienungsverbot gilt im Prinzip bereits für Zubereitungen mit dem Symbol F+ (hochentzündlich). Nach vorherrschender Interpretation der Ausnahmen in § 3 (4) ist Montageschaum mit F+ davon aber ausgenommen. Für die Aufklärung dieses Sachverhalts sei Dr. Peter Geboes von Soudal und Dr. Wolfram Schindler von Wacker Chemie an dieser Stelle ausdrücklich gedankt.

regelmäßigen Gesundheitskontrollen vermeiden wollten. [48] Bei dem von Rathor entwickelten Schaum enthält das Präpolymer weniger monomere Isocyanate, so dass die Isocyanate nach der Freisetzung zu mehr als 99% gebunden sind und nicht mehr toxisch wirken. Aufgrund des hohen Preises (viermal so hoch wie andere Produkte) fanden diese Produkte aber praktisch keine Abnehmer in Deutschland.

Ein anderer Weg zur Herstellung isocyanatfreien Schaums wurde zuerst von Soudal beschritten. Mittlerweile verfolgen auch Rathor und weitere Hersteller diesen Ansatz, der "silanbasiert" bezeichnet wird, weil er auf einem neuartigen silan-vernetzenden Präpolymer beruht. Das Präpolymer (im Kern ein Polyurethan) enthält keine reaktiven Isocyanatgruppen mehr, sondern Silan-Endgruppen¹⁵. In Gegenwart von Luftfeuchtigkeit und geeigneten Katalysatoren vernetzen die Silan-terminierten Präpolymere nach Ausbringung miteinander und können verschäumt werden. [50] Bei der Vernetzung wird kein CO₂ freigesetzt. Darum muss die Druckdose mehr Treibgas als bisher enthalten.

7.2 Isocyanatfreier Montageschaum bisher nur mit HFKW-134a

Der erste und bisher einzige silanbasierte Dosenschaum ist seit Ende 2004 auf dem europäischen Markt: Soudafoam SMX von der belgischen Firma Soudal. Allerdings: Nur der isocyanatfreie Schaum der Baustoffklasse B3 hat ein Treibgasgemisch mit GWP < 150, während der isocyanatfreie Schaum der in Deutschland verlangten Baustoffklasse B2 noch Treibmittel mit HFKW-134a enthält (GWP > 150). [51]

Sofern bis zum Selbstbedienungsverbot für isocyanathaltigen Montageschaum kein isocyanatfreier Schaum ohne HFKW-134a auf den Markt kommt, besteht in Verkaufsstellen mit Selbstbedienung in Deutschland folgende Situation:

- Die bisherigen B2-Dosenschäume haben zwar Treibmittel ohne HFKW-134a (GWP < 150), sind aber isocyanathaltig und müssen mit R 40 gekennzeichnet werden. Sie dürfen im Baumarkt nicht offen angeboten werden.
- Der neue silanbasierte B2-Dosenschaum ist zwar isocyanatfrei und braucht keine Kennzeichnung mit R 40, er enthält aber im Treibmittel HFKW-134a. Gemäß F-GaseV darf er in Deutschland überhaupt nicht angeboten werden, auch nicht in verschlossenen Vitrinen¹⁶.

Dieser vom Standpunkt des Gesundheitsschutzes unerfreuliche Konflikt ist dadurch zu lösen, dass die Hersteller möglichst schnell isocyanatfreien Montageschaum auf den Markt bringen, der die F-Gase-Verordnung (GWP des Treibmittels < 150) erfüllt. Dieser Prozess ist, wie aus Herstellerkreisen verlautet, aussichtsreich im Gange.

¹⁵ Die Chemieindustrie hat dafür neue Silane (α -Silane) entwickelt. [49]

¹⁶ Angesichts dieser Konfliktsituation ab Juni 2009, die dazu führt, dass isocyanatfreier Montageschaum zwar vorhanden ist, aber wegen des Treibmittels nicht verkauft werden darf, verweist der Hersteller Soudal auf die Ausnahmeklausel nach Anhang II F-GaseV, wonach die Verwendung von HFKW-134a erlaubt ist, wenn nationale Sicherheitsstandards anders nicht eingehalten werden können. Ohne HFKW-134a, so die Argumentation, sei für isocyanatfreien Montageschaum die fundamentale nationale Brandschutznorm, nämlich B2, nicht einzuhalten. Soudal: Da der Gesetzgeber aus Gründen des Gesundheitsschutzes isocyanatfreien Schaum verlangt, sollten für diesen Zweck Treibmittel mit HFKW-134a (GWP > 150) erlaubt werden. [51]

Anhang Emissionsabschätzung für das Umweltbundesamt

1. Die HFKW-Emissionen aus der Anwendung

Die Gewinnung der Emissionsdaten für das Umweltbundesamt erfolgt über Befragung ausgewählter Branchenexperten. Diese schätzen sowohl die Anzahl der jährlich in Deutschland verkauften Dosen als auch den durchschnittlichen HFKW-Gehalt pro Dose (134a und 152a) ab. Das Produkt aus Dosenzahl und HFKW-Inhalt ergibt die verkaufte HFKW-Gesamtmenge. Aufgrund des kurzen Zeitabstands zwischen Verkauf und Anwendung sowie des Umstands, dass der HFKW-134a im Anwendungsjahr praktisch ganz emittiert, werden HFKW-Verkaufsmenge und HFKW-Anwendungsemissionen für dasselbe Jahr gleichgesetzt. [52]

Die Marktschätzung durch einen oder zwei Experten ist in dem Maße schwieriger und unsicherer geworden, wie (1) der HFKW-Anteil gegenüber anderen Gasen in der Dose sank, (2) von Hersteller zu Hersteller variierte, (3) immer mehr Dosen ohne HFKW auf den Markt kamen und (4) die Relation 134a zu 152a ständig wechselte.

Seit 2007/2008 ist die Bestimmung der jährlichen HFKW-Emissionen noch schwieriger geworden. Die Mengen pro Dose sind, besonders beim HFKW-134a, sehr gering, sie wechseln bei jedem Hersteller und in jeder Schaumspezifikation. Ein Überblick über diese Details des Gesamtmarkts ist zwangsläufig sehr unsicher.

1.1 Das neue Verfahren auf Basis der PDR-Messdaten

Wir haben darum mit Hilfe der PDR ein Verfahren entwickelt, dass die Emissionen u. E. präziser und sicherer als das bisherige bestimmt und gerade für die kommenden Jahre geeignet ist. Es kann auch zur Kontrolle der Einhaltung der F-GaseV dienen.

Die PDR¹⁷ Recycling GmbH + Co KG recycelt jährlich im Auftrag ihrer Gesellschafter, nämlich der auf dem deutschen Markt aktiven Montageschaum-Hersteller, gebrauchte Dosen, die von den Anwendern kostenlos zurückgeholt werden. Die Hersteller finanzieren das System durch Wertmarken, die sie bei der PDR kaufen, um damit ihre Dosen zu kennzeichnen. Die PDR gewinnt aus den zurück genommenen Dosen u. a. das restliche Treibgas und arbeitet es für die Hersteller zur Wiederverwendung auf (Handelsname TRIGAS). Das Gas aus den gebrauchten Dosen wird ständig auf seine Zusammensetzung analysiert (ca. 100 Proben jährlich), so dass die PDR über wichtige Daten zur Emissionsbestimmung verfügt:

1. Anzahl der pro Kalenderjahr in Deutschland verkauften Montageschaum-Dosen. Sie ist über den Wertmarkenverkauf bekannt¹⁸. Das durchschnittliche Dosenvolumen wird von der PDR mit 600 ml angegeben.

2. Die mittlere Menge Treibgasgemisch pro Dose. Sie beträgt laut PDR 100 Gramm.

¹⁷ PDR stand ursprünglich für Polyurethan-Dosen-Recycling. Die Gesellschaft wurde 1993 im nordbayerischen Thurnau von den führenden Montageschaumanbietern auf dem deutschen Markt zwecks Abfallentsorgung gegründet.

¹⁸ Ein kleiner Teil der Dosen auf dem deutschen Markt stammt nicht von PDR-Gesellschaftern und trägt daher keine Wertmarke. Die nachfolgend verwendeten jährlichen Stückzahlen, die uns die PDR mitgeteilt hat, schließen die Dosen ohne Wertmarken bereits ein – aufgrund der PDR-Eigenschätzung.

3. Dauer des Dosenrücklaufs ab Verkauf. Anhand des Wertmarkenverkaufs ergibt sich, dass über Jahre hinweg neun Monate (Normalverteilung) zwischen Wertmarkenabgabe (Vermarktung) und Rücknahme gebrauchte Dosen vergehen.

4. Die Rücklaufquote (zurückgekommene zu verkauften Wertmarken). Sie ist sowohl ausreichend hoch als auch repräsentativ genug, um die gemessene Gaszusammensetzung der zurückgenommenen alten Dosen auf die Gaszusammensetzung der insgesamt verkauften neuen Dosen hochrechnen zu können, genauer: auf die neun Monate vorher verkauften Dosen. Unter Inkaufnahme einer gewissen Unsicherheit kann das im Jahr n gemessene Treibgasgemisch der Gaszusammensetzung der im Vorjahr n-1 verkauften Dosen gleichgesetzt werden.

5. HFKW-Split. Laufende Messungen ermitteln im zurück gewonnenen Treibgasgemisch die Anteile von HFKW-134a, HFKW-152a und Kohlenwasserstoffen für einzelne Kalenderjahre.

Die PDR teilte uns die gemittelten Anteile der HFKW in Massenprozent des Treibgasgemischs (Rest: Kohlenwasserstoffe) mit [53]:

Messjahr 2003 (Verkaufsjahr 2002): HFKW-134a: 26,7 %/HFKW-152a: 6,8 %.

Messjahr 2007 (Verkaufsjahr 2006): HFKW-134a: 12,6 %/HFKW-152a: 1,9 %.

Messjahr 2008 (Verkaufsjahr 2007): HFKW-134a: 17,9 %/HFKW-152a: 0,9 %.

Der Gewichtsanteil der beiden HFKW-Typen im Treibgas hat zwischen 2002 und 2006 von 33,5% auf 14,5% abgenommen. Überraschend ist aber der Wiederanstieg des Anteils von HFKW-134a im Gasgemisch des Messjahres 2008 gegenüber 2007. Die PDR bezeichnet die Zunahme als temporär und erklärt sie mit Lagerräumung und Abverkauf der Dosen mit HFKW-134a vor dem Verbotstermin Mitte 2008. [54] Dazu kommt allerdings auch noch das Marktwachstum des Mega-Schaums, der am längsten mit HFKW-134a formuliert wurde.

1.2 Die Anwendungsemissionen 2002-2007

Die inländischen HFKW-Anwendungsemissionen ergeben sich für die drei genannten Verkaufsjahre (2003-2005 wurden hier der Einfachheit halber weggelassen) aus der Multiplikation der drei Faktoren (1) Stückzahl aller verkauften Dosen, (2) Treibgasgemisch pro Dose in Gramm und (3) Gewichtsprozent von HFKW-134a bzw. HFKW-152a. Berechnung und Ergebnisse sind in Tabelle 9 dargestellt.

Verkaufs-jahr	Dosen-gesamt (600 ml*)	Treibgas-gemisch pro Dose	Treibgas-Menge	Gew-% 134a	Gew-% 152a	Emission 134a	Emission 152a
2002	22,1 Mio.	100 g	2210 t	26,7	6,8	590 t	151 t
2006	24,6 Mio.	100 g	2460 t	12,6	1,9	309 t	47 t
2007	25,2 Mio.	100 g	2520 t	17,9	0,9	451 t	23 t

* Die PDR standardisiert nicht auf 750ml, sondern nimmt ihren eigenen Durchschnittswert.

Es zeigt sich: Die Emissionen des HFKW-134a sind von 2002 bis 2006 viel weniger stark zurückgegangen als diejenigen des HFKW-152a. Das deckt sich mit Berichten der Hersteller, dass HFKW-134a physikalisch-technisch das bessere Treibmittel und nicht so einfach zu ersetzen sei wie HFKW-152a. [6]

Zur Veranschaulichung des jüngsten Trends werden hier noch die gemessenen Gewichtsprozente des 1. Halbjahres mit denen des 2. Halbjahres 2008 verglichen:

1. Halbjahr: 18,9% HFKW-134a und 1,0% HFKW-152a.

2. Halbjahr (bis 7. November): 16,2% HFKW-134a und 0,8% HFKW-152a.

Das 2. Messhalbjahr 2008 zeigt eine Abnahme des HFKW-134a um 2,7% gegenüber dem 1. Halbjahr. Das bedeutet, dass innerhalb des Jahres 2007 die Emissionen von HFKW-134a eine Abwärtstendenz aufweisen, die allerdings nicht stark ausgeprägt ist.

1.3 Prognose der Anwendungsemissionen 2010 und 2020

Auch wenn im zweiten Halbjahr 2007 die Anwendungsemissionen von HFKW zurückgingen, waren sie bis Mitte 2008 nach aller Wahrscheinlichkeit noch nicht auf dem Niveau, das die F-GaseV verlangt. Die Umformulierungen für manche Spezialschäume waren schwierig, so dass erst Ende 2008 (vgl. Tab. 6) das GWP aller Treibgasgemische in den in Deutschland verkauften Dosen kleiner als 150 war.

Gegenwärtig sind es zwei Spezifikationen, die von einigen Herstellern mit Anteilen von HFKW-134a oder HFKW-152a (beide in Gemischen < 150 GWP) angeboten werden: Mega-Schaum und Brandschutzschaum. Aus den Marktanteilen dieser Spezifikationen (Tabelle 5) und den Marktanteilen ihrer Anbieter (Tabelle 3) lässt sich abschätzen, dass zurzeit ca. 0,5 Mio. Dosen Mega-Schaum mit 152a sowie 0,5 Mio. Dosen Mega-Schaum und 0,2 Mio. Dosen Brandschutzschaum mit 134a verkauft werden (auf ein Jahr hochgerechnet). Bei HFKW-Gehalten von 15 Gramm im Falle 134a und 60 Gramm im Falle 152a (je 750 ml-Dose), errechnen sich gesamte Anwendungsemissionen von 30 t 152a und 10,5 t 134a. Dazu kommen noch 1,5 t 134a vom Bergbau-Schaum. Diese Schätzwerte lassen sich allerdings frühestens ab September 2009 durch die Gasanalysen der PDR verifizieren.

Der gegenwärtige Umfang der Anwendungsemissionen von 30 t 152a und 12 t 134a kann als das Ergebnis der F-GaseV betrachtet werden. Er dürfte sich bis 2010 noch nicht wesentlich ändern und dann die Jahresmenge bilden.

Bis 2020 dürften alle Hersteller in der Lage sein, ihre Produkte ganz ohne HFKW zu formulieren und in Deutschland anzubieten. Dann bleiben nur noch die Schäume für den Bergbau übrig mit gegenwärtig 1,5 t Emissionen von 134a. Die Nachfrage des Bergbaus dürfte eher sinken als steigen, so dass die 1,5 t als Obergrenze zu verstehen sind.

Siehe zu diesen Daten die zusammenfassende Tabelle 11 am Schluss des Anhangs.

2. Die HFKW-Emissionen bei der Abfüllung

Die inländischen Befüllemissionen fallen bei der Herstellung in den (drei) deutschen Abfüllbetrieben an. Sie müssen anders als die Anwendungsemissionen ermittelt werden. Zunächst ist der Gasverlust beim einzelnen Befüllvorgang abzuschätzen.

2.1 Emissionsfaktor (EF) der Befüllung

Der EF der Befüllung ergibt sich aus der Art und Weise der Gasbefüllung der Dosen.

Sobald die nichtflüchtigen Komponenten in die offene Dose gefüllt sind, wird der Deckel mit Ventil aufgesetzt. Die flüssigen Treibgase werden durch das Ventil nacheinander in die Dose gefüllt. Bei jeder Befüllung bleibt flüssiges Gas im Ventiltröhrchen, das einen Rauminhalt von etwa 0,4 ml hat. Dieses Gasquantum entweicht in die Luft. Bei jeder Einfüllung des HFKW-134a (Dichte 1,2) emittieren daher etwa 0,5 Gramm, unabhängig davon, ob viel oder wenig Gas dosiert wird. (Der HFKW-152a wird in Deutschland seit einigen Jahren nicht mehr eingefüllt.)

Der Emissionsfaktor der Befüllung beträgt im Falle HFKW-134a 0,5 Gramm pro Dose.

2.2 Die inländischen Befüllemissionen 2006-2008

Der Umfang der inländischen Befüllemissionen des HFKW-134a ergibt sich aus der Multiplikation der Zahl der insgesamt abgefüllten Dosen mit dem Emissionsfaktor. Die Zahl der abgefüllten Dosen mit Zugabe von HFKW-134a wird direkt bei den drei inländischen Herstellern abgefragt. Diese werden zusätzlich um Angabe ihres jährlichen Gesamtverbrauchs von HFKW-134a gebeten, da auch dieser der internationalen Berichtspflicht unterliegt (s. Abschnitt 2.3).

Die Stückzahl der Dosen mit HFKW-134a im Treibgasgemisch betrug 2006 etwa 12% aller Abfüllungen (4,2 Mio.) im Mittel der drei deutschen Hersteller. Diese Menge hat sich wegen des hohen Exportanteils der deutschen Hersteller bis 2008 nur geringfügig vermindert, auf etwa 11%. Dosen für den inländischen Markt enthalten nur etwa 15 Gramm 134a, um den GWP 150 des Gasgemischs nicht zu überschreiten. Aber in den Dosen, die außerhalb der EU verkauft werden, sind die Füllmengen von 134a höher. Daher beträgt die mittlere Füllmenge gegenwärtig etwa 40 Gramm – nach 45 Gramm in den beiden Jahren davor.

Die HFKW-Befüllemissionen hängen allerdings nicht von den HFKW-Füllmengen der Dosen ab, sondern – bei gegebenem Emissionsfaktor - einzig von deren Zahl.

Jahr	Dosen gesamt	Anteil 134a-Dosen	134a pro Dose	Dosen mit 134a	Verbrauch	EF Befüll	Befüll-Emiss.
2006	35 Mio.	12%	45 g	4,2 Mio.	189 t	0,5 g	2,1 t
2007	35 Mio.	<12%	45 g	4,0 Mio.	170 t	0,5 g	2,0 t
2008	35 Mio.	11%	40 g	3,85 Mio.	154 t	0,5 g	1,92 t

Die Befüllemissionen 2006-2008 aus der Multiplikation von Stückzahl mit dem Emissionsfaktor der Befüllung (0,5 g) sind in Tabelle 10 (letzte Spalte) eingetragen – zusammen mit dem HFKW-Verbrauch, der sich aus den Füllmengen ergibt.

2.3 Der jährliche HFKW-Verbrauch zur Befüllung

Im Zeitraum 2006-2008 hat nicht nur die Zahl HFKW-haltiger Dosen, sondern auch die durchschnittliche HFKW-134a-Menge in diesen Dosen abgenommen, allerdings weniger stark: 45 Gramm (2006) – 40 Gramm (2008). [6]

Der jährliche HFKW-Verbrauch ergibt sich für die drei genannten Abfülljahre aus der Multiplikation der (1) Stückzahl aller mit HFKW-134a befüllten Dosen mit (2) der spezifischen mittleren Füllmenge des HFKW-134a-Menge in diesen Dosen. Diese Werte sind zusammen mit den Befüllemissionen in Tabelle 10 enthalten.

Der Verbrauch zur Befüllung ist zwischen 2006 und 2008 von 189 t auf 154 t zurückgegangen. Der berechnete Wert für den Verbrauch 2006 (189 t-) stimmt weitgehend überein mit der vom Statistischen Bundesamt für 2006 bei den Herstellern erhobenen Menge (191 t). Die amtliche Erhebung für 2007 liegt erst Mitte 2009 und für 2008 erst Mitte 2010 vor, so dass sie noch nicht zur Kontrolle der Schätzwerte dienen werden können¹⁹. Wie aus dem Stat. Bundesamt zu hören ist, liegen die hier ermittelten Zahlen für 2007 aber (vorläufig) im Bereich der Erhebung.

2.4 Prognose der Befüllemissionen 2010 und 2020

Die Dosenbefüllung mit HFKW-134a geht in Deutschland seit 2008 mit der F-GaseV konform. Bis 2010 sind daher keine einschneidenden Änderungen bei Verbrauch von HFKW-134a und Stückzahlen von HFKW-134a-haltigen Dosen zu erwarten. Allerdings dürften die 134a-Mengen in den Dosen, die für den Export nach außerhalb der EU bestimmt sind, den Füllmengen für den Absatz innerhalb der EU angeglichen werden, so dass der HFKW-Verbrauch weiter gesenkt werden kann. Das trifft aber nicht auf die Befüllemissionen zu, da die Stückzahlen gleich bleiben.

Bis 2020 sollten die deutschen Hersteller in der Lage sein, alle Produkte ohne HFKW zu formulieren. Dann bleiben nur noch die Produkte für den nationalen und internationalen Bergbau übrig, die hohe spezifische Füllmengen mit 134a aufweisen, nämlich mindestens 100 Gramm pro 600 ml-Dose. Wir nehmen eine Stückzahl von maximal 50.000 jährlichen Einheiten für den Bergbau an, so dass 2020 noch knapp 25 kg Befüllemissionen anfallen dürften und der Verbrauch bei 5 t liegen könnte.

3. Übersicht Emissionsprognose 2010 und 2020

Der Übersichtlichkeit halber sind in Tabelle 11 die im Text genannten Emissionen noch einmal zusammengestellt. Sie sind außerdem in CO₂-Äquivalente umgerechnet.

	Anwendungsemissionen				Befüllemissionen		Gesamt
	HFKW-152a		HFKW-134a		HFKW-134a		
Jahr	Tonnen	t CO ₂ äqu.	Tonnen	t CO ₂ äqu.	Tonnen	t CO ₂ äqu.	t CO ₂ äqu.
2010	30	4.200	12	15.600	1,00 t	1,300	21.100
2020	-		1,5	1.950	0,025 t	32,5	1.980

¹⁹ In Zukunft könnte der Verbrauch alleine über die Erhebung des Statistischen Bundesamts nach Umweltstatistik-Gesetz (UstatG) erfasst werden, wenn auch zu spät für die jährliche Berichterstattung. Die Stückzahl, die für die Befüllemissionen maßgeblich ist, wird allerdings nicht erhoben. Hier ist Kooperation der dt. Hersteller mit dem Umweltbundesamt unerlässlich.

Nachweise

- [1] Verordnung (EG) Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase. Amtsblatt der Europäischen Union L 161/1 vom 14.6.2006.
- [2] Verordnung zum Schutz des Klimas vor Veränderungen durch den Eintrag bestimmter fluoriertes Treibhausgase (Chemikalien-Klimaschutzverordnung – ChemKlimaschutzV) vom 2. Juli 2008.
- [3] Schwaab, Katja u. a.: Fluorierte Treibhausgase in Produkten und Verfahren - Technische Maßnahmen zum Klimaschutz – Bericht des Umweltbundesamtes 20. Februar 2004.
- [4] Öko-Recherche, Inventarermittlung 2006/2007 (F-Gase). Daten von HFKW, FKW und SF₆ für die nationale Berichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für die Berichtsjahre 2006 und 2007 sowie Prüfung der Datenermittlung über externe Datenbanken, für das Umweltbundesamt, FKZ 207 42 300, Dezember 2008.
- [5] Schwarz, W. /J. Harnisch: Costs and the impact on emissions of potential regulatory framework for reducing emissions of hydrofluorocarbons, perfluorocarbons and sulphur hexafluoride. Commissioned by DG Environment of the European Commission, 2003; Darin: HFCs in One Components Foam. http://europa.eu.int/comm/environment/climat/pdf/ecofys_oekorecherchestudy.pdf.
- [6] Expertenbefragung Oktober/November 2008. Gespräche mit den führenden europäischen Montageschaum-Herstellern, dem AKPU und der PDR:
Hanno-Werk, Himberg bei Wien, Matthias Otterer (Labor), +43 2235 862 27, pers. Mitt. 14.10.2008.
DEBRATEC (vorm. Büka) Schwepnitz, Ursula Mittasch (Labor), 035797-646-320, umittasch@debratec.de, pers. Mitt. 14.10.2008.
Rathor-Polypag AG, Appenzell (CH), Achim Niemeyer (Managing Director), +41-71 757 6411, pers. Mitt. 26.09.2008, 23.10.2008, 11.11.2008.
Autra Den Braven Aerosol GmbH + Co KG, Reichenberg-Albertshausen, 09366-9071-0, Peter Lindner (Produktion), p.lindner@denbraven-aerosols.de, pers. Mitt. 30.10.08; Fred Engelaer (Geschäftsführer), f.engelaer@denbraven-aerosols.de, pers. Mitt. 29.10.2008.
HAGO Dr. Schirm Chemotechnik, München, 089-897702-0, Walter Eissler, walter.eissler@hago.de, pers. Mitt. 06.05.08.
Henkel KGaA, Düsseldorf, 0211-797-0. Milan Sebestian (Laborleiter AWT PU-Schäume), Felicitas Kolendar, pers. Mitt. 08.05.08, 16.10.2008, 13.11.2008.
Kim Jarolim Im- und Export GmbH, Sulzdorf, Hr. Bösken (Geschäftsführer) 09334-978-0, info@kim-tec.de, pers. Mitt. 21.10.2008.
Tremco illbruck Productie B.V., Arkel NL, +31 183-56-8019, Goslin van Herpen (Labor), info-nl@tremco-illbruck.com, pers. Mitt. 11.11.2008.
TKK Proizvodnja Kemicnih Izdelkov, Srpenica, Slovenia, +386 5 384 13 00, Tatjana Vicko, pers. Mitt. 27.10.2008.
Selena Co. S.A., Wroclaw/Orion Sp. z.o.o., Dzierzoniów, Pjot Midor +48 71 78 382 90, pmidor@selena.pl, pers. Mitt. 27.10.2008.
AS Krimelte, Tallinn, Estland, +372 605 93-14, Raivo Raba (Strategic Sourcing Manager), raivo@krimelte.ee, meeting, 01. 10. 2008.
Henkel-Makroflex AS, Tallinn, Estland, Margus Kriis (Head of R&D Department), +372-6999070, Margus.Kriis@ee.henkel.com, meeting 30.09.2008, pers. Mitt. 30.10.2008.
Soudal NV, B-2300 Turnhout, Dr. Peter Geboes (Manager R&D), +32 14 424 231, Geboes@soudal.com, pers. Mitt. Oktober 2008.

- AKPU** Tilburg, René van Diessen, +31 1346 85507, info@akpu.org, pers. Mitt. 26.9.08.
- PDR Recycling GmbH + Co. Betriebs KG**, Thurnau, 09228-950-0. Hans Taubenberger (GF), DW -42, ht@pdr.de, und Rebecca Hahn (Laborleitung), DW-300, rh@pdr.de, pers. Mitt. 09.05.08, 21.08.2008.
- [7] Leisewitz, A./Schwarz, W., Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel, Band II: Flammhemmende Ausrüstung ausgewählter Produkte – anwendungsbezogene Betrachtung: Stand der Technik, Trend, Alternativen, UBA-Texte 26/01. Darin: 4.5. Montageschaum.
- [8] Pauls, Matthias, Rathor GmbH, Appenzell, Stellungnahmen der Sachverständigen zum Fragenkatalog für die öffentliche Anhörung am 3. und 4. Dezember 1992 zu dem Thema "Ökobilanz/Produktlinienanalyse am Beispiel des FCKW-Ersatzstoffes R 134a und anderer Ersatzstoffe bzw. -technologien", Deutscher Bundestag, Enquete-Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt (Kommissionsdrucksache 12/6a), Bonn 17. November 1992.
- [9] FCKW-Halon-Verbots-Verordnung - Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen. Vom 6. Mai 1991, zuletzt geändert am 29. Oktober 2001.
- [10] Rathor AG, Appenzell, Geschäftsleitung M. Pauls, Schreiben an Öko-Recherche 12. Juni 1996.
- [11] Henkel KGaA, Düsseldorf, Dr. W. Klauck, H. Kluth, 0211-797-9590, Schreiben an Öko-Recherche, 26.09.1995.
- [12] OCF: Facts Sheet: Ad van der Rhee und Peter Geboes, Diskussion mit Öko-Recherche (Winfried Schwarz), Frankfurt am Main, 08.08.2002.
- [13] Rathor AG, Appenzell, Geschäftsleitung Matthias Pauls und Achim Niemeyer, Schreiben an Öko-Recherche, 26. Februar 1999.
- [14] Schwarz, W./Leisewitz, A. (Öko-Recherche): Aktuelle und künftige Emissionen treibhauswirksamer fluoriertes Verbindungen in Deutschland, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Dezember 1996. Sowie: Schwarz, W./Leisewitz, A. (Öko-Recherche): Emissionen und Minderungspotential von HFKW, FKW und SF₆ in Deutschland, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Oktober 1999.
- [15] Ad van der Rhee (Autra), Basisdaten OCF-HFC 2002 aus Sicht des AKPU, a.vdrhee@autra.de, Schreiben an Öko-Recherche, September 21, 2003.
- [16] DIN (1998): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. DIN 4102-1, Mai 1998, Berlin: Beuth.
- [17] Materialprüfanstalt für das Bauwesen Hannover (MPA BAU), Bernd Restorff (Fachgruppe Dämmstoffe und Brandverhalten von Baustoffen), 0511 762 2240, b.restorff@mpa-bau.de, pers. Mitt. 06.05.2008.
- [18] Musterbauordnung – MBO – Fassung November 2002. Ausgearbeitet von der Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der 16 Länder (ARGEBAU).
- [19] DIBt - Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, Peter Proschek (Abteilung III Referat 4), 030 78730 207, ppr@dibt.de, pers. Mitt. 29.10.2008.
- [20] BGBau - Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Stuttgart, Michael Aldinger (Sachgebiet Tunnelbau), 0711-97894-15, Michael.aldinger@bgbau.de, pers. Mitt. 17.10.2008.
- [21] DVGW - Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, 0228 91885, Josef Sandmann; Detlef Jagodzinski (TK Gasverteilung), jagodzinski@dvgw.de, pers. Mitt. 14.11.2008.
- [22] BRUGG Rohrsysteme GmbH, Wunstorf, 05031 170 0, Thomas Worbs; Jürgen Schütze, pers. Mitt. 17.11.2008.

- [23] Schmitz Cargobull AG, Horstmar, 02558 81 0, Hr. Deelmann (Entwicklung), pers. Mitt. 17.11.2008.
- [24] DIN 22100-1: Betriebsmittel und Betriebsstoffe aus Kunststoffen zur Verwendung in Bergwerken unter Tage – Teil 7: Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfungen, Kennzeichnung.
- [25] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG).
- [26] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV).
- [27] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV).
- [28] Meyer Werft, Papenburg, 04961-81-0, Roland Wittich, Beauftragter für Arbeitsschutz, pers. Mitt. 10.10.2008.
- [29] Kugel, Jürgen, Bezirksregierung Arnsberg, Dortmund, Dezernat 62, Abteilung Bergbau und Energie, 0231-5410-3659, juergen.kugel@bra.nrw.de, pers. Mitt. 20.10.2008; 05.11.2008.
- [30] Bergverordnung zum gesundheitlichen Schutz der Beschäftigten (Gesundheitsschutz-Bergverordnung – GesBergV) vom 31.07.1991 (BGBl. I S. 1751), zuletzt geändert durch Verordnung vom 10.08.2005 (BGBl. I. S. 2452).
- [31] Sammelliste der allgemein zugelassenen Stoffe nach § 4 Abs. 1 GesBergV – Geschäftszeichen 62.1.22.6-1-1, Stand 06. August 2008. Internet www.bezreg-arnsberg.nrw.de
- [32] Landmann, Anke, Bezirksregierung Arnsberg, Dortmund, Abteilung Bergbau und Energie, 0231-5410-3615 anke.landmann@bra.nrw.de, pers. Mitt. 13.10.2008.
- [33] Tolksdorf, Ulrich, Hygiene-Institut des Ruhrgebiets, Abt. Bergbauhygiene, Baustoffe, Produktuntersuchungen, Gelsenkirchen, 0209-9242-320, pers. Mitt. 13.10.2008.
- [34] Fachbeitrag Jürgen Kugel und Anke Landmann, 14 Jahre Zulassungen nach § 4 GesBergV – ein Verfahren auf dem Prüfstand, Veröffentlichung der Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW, Dortmund, 04.07.2006.
- [35] Sammelliste für Gefahrstoffe in Kleingebinden ohne Einzelzulassung nach § 4 Abs. 1 Nr. 2 GesBergV, Stand 03.04.2008. Internet www.bezreg-arnsberg.nrw.de
- [36] Compact Technology GmbH, Traunreuth, Gisela Huber (Verkauf) 08669-3410-20, Gisela.Huber@compacttech.com, pers. Mitt. 13.10.2008.
- [37] Bostik GmbH, Borgholzhausen, Thorsten Bauer (Labor), 05425-801-250, pers. Mitt. 14.10.2008.
- [38] DEBRATEC (vorm. Büka) Schwepnitz, Ursula Mittasch (Labor), 035797-646-320, umittasch@debratec.de, pers. Mitt. 14.10.2008.
- [39] Schaum-Chemie Wilhelm Bauer GmbH & Co. KG, Essen, Thomas Fach (Projektleiter GB Polyurethane), 0201-36471- 0, t.fach@Schaum-Chemie.de, pers. Mitt. 14.10.2008.
- [40] Minova Carbo Tech GmbH, Essen, Martin Fischer (Abteilungsleiter Qualitätssicherung), 0201-172 18038, martin.fischer@minovaint.com, pers. Mitt. 13.10.2008.
- [41] Zeißig GmbH & Co. KG, Mülheim (Ruhr), Siegfried Köhler, 0208-993690, koehler@zeissig.info, pers. Mitt. 28.10.2008.

- [42] Stellungnahme der Bezirksregierung Arnsberg, Dortmund, Dezernat 62, Abteilung Bergbau und Energie (Verfasser Jürgen Kugel), Schreiben an Öko-Recherche, 10.12.2008.
- [43] Gemeinsame Prüfbestimmungen der Länderbehörden für allgemeine Zulassungen nach § 4 in Verbindung mit Anlage 5 der Bergverordnung zum gesundheitlichen Schutz der Beschäftigten (Gesundheitsschutz-Bergverordnung - GesBergV) vom 31.07.1991 (BGBl. I S. 1751), zuletzt geändert durch Verordnung vom 10.08.2005 (BGBl. I S. 2452).
- [44] Bergverordnung für die Steinkohlenbergwerke (BVOST) vom 10. Januar 2000 in der Fassung vom 1.5.2001.
- [45] Bergverordnung für die Erzbergwerke, Steinsalzbergwerke und für die Steine- und Erden-Betriebe (BVOESSE). Bekanntmachung der Neufassung der Bergverordnung für die Erzbergwerke, Steinsalzbergwerke und für die Steine- und Erden-Betriebe (BVOESSE) vom 1. Juni 1999.
- [46] Richtlinie 2008/58/EG der Kommission vom 21. August 2008 zur 30. Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe an den technischen Fortschritt.
- [47] Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (Chemikalien-Verbotsverordnung - ChemVerbotsV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 13. Juni 2003 (BGBl. I S. 867), zuletzt geändert durch die Verordnung vom 21. Juli 2008 (BGBl. I S.1328).
- [48] Öko-Test 6/2007, Test: Montageschäume, einkomponentig, Seite 114-117.
- [49] Silane: Schäumen ohne Isocyanat, Autor: Dr. Rudolf Hager, Wacker Silicones, in: GFF Zeitschrift für Glas, Fenster, Fassade, Metall 4/2006, 48-50.
- [50] Wacker Chemie AG, Burghausen, Dr. Wolfram Schindler, (Technical Service Manager Organofunctional Silane Technologies), 08677 83-7626, Wolfram.Schindler@wacker.com, pers. Mitt. 16.10.2008.
- [51] Soudal NV, B-2300 Turnhout, Dr. Peter Geboes (Manager R&D), +32 14 424 231, Geboes@soudal.com, pers. Mitt. Oktober+November 2008.
- [52] Winfried Schwarz: Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002. Anpassung an die Anforderungen der internationalen Berichterstattung und Implementierung der Daten in das zentrale System Emissionen (ZSE), für das Umweltbundesamt, Dessau, Juni 2005, <http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-1/2902.pdf>. UBA-Text 14/05.
- [53] PDR Recycling GmbH + Co. Betriebs KG, Thurnau, 09228-950-300. Rebecca Hahn (Laborleitung), rh@pdr.de, pers. Mitt. 13.11.2008.
- [54] PDR Recycling GmbH + Co. Betriebs KG, Thurnau, 09228-950-42, Hans Taubenberger (GF), ht@pdr.de, pers. Mitt. 21.08.2008.