

TEXTE

43/2012

(H)-FCKW-geschäumte Dämmstoffe im Bauwesen in Deutschland

Schätzung der potentiellen Emissionen bis zum
Jahr 2010

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 363 01 229
UBA-FB 001653

(H)-FCKW-geschäumte Dämmstoffe im Bauwesen in Deutschland

**Schätzung der potentiellen Emissionen bis zum
Jahr 2010**

von

Richard Obernosterer
Ressourcen Management Agentur GmbH, Villach (Österreich)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4353.html> verfügbar.

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

ISSN 1862-4804

Durchführung der Studie:	Ressourcen Management Agentur GmbH Technologie Park Villach (tpv) Europastrasse 8 9524 Villach (Österreich)
Abschlussdatum:	November 2011
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: info@umweltbundesamt.de Internet: http://www.umweltbundesamt.de http://fuer-mensch-und-umwelt.de/
Redaktion:	Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen Dr. Cornelia Elsner

Dessau-Roßlau, September 2012

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	1
ZUSAMMENFASSUNG.....	2
SUMMARY	3
1 EINLEITUNG	4
1.1 Problematik.....	4
1.2 Gesetzeslage.....	5
2 MENGENABSCHÄTZUNG	7
2.1 Produktübersicht.....	7
2.2 XPS Hartschaum	8
2.2.1 Anwendungsgebiete für XPS Hartschaum	8
2.2.2 Lagerabschätzung für XPS Hartschaum	10
2.3 PU Hartschaum	13
2.3.1 Anwendungsgebiete für PU Hartschaum	13
2.3.2 Lagerabschätzung für PU Hartschaum	14
2.4 Ergebnisse der Mengenabschätzung.....	19
3 LITERATURVERZEICHNIS	21

Zusammenfassung

FCKW und HFCKW sind geregelte Stoffe laut europäischer Verordnung (EG) Nr. 1005/2009. Nach Artikel 22 sind geregelte Stoffe in bestimmten Produkten (z.B. Dämmstoffen) soweit technisch möglich und wirtschaftlich machbar, zurückzugewinnen oder ohne vorherige Rückgewinnung zu zerstören. Im Anhang VII sind konkrete Technologien für Zerstörung, Recycling oder Aufbereitung aufgelistet.

(H)FCKW in Dämmstoffen wurden in Deutschland im Jahr 1995 (R 11 und R 12) und im Jahr 2000 (R 22) verboten. HFCKW (141b und 142b) wurden auf europäischer Ebene im Wesentlichen für extrudierte Polystyrol-Hartschaumstoffe im Jahr 2002 und für Polyurethan-Schaumstoffe im Jahr 2003 verboten.

Bisher gab es nur vereinzelte Angaben über die bis zu den Verboten produzierten und verbauten (H)FCKW-Mengen. Im vorliegenden Bericht werden die in Deutschland verbauten Mengen an (H)FCKW-haltigen Dämmstoffen deshalb näher bestimmt und die noch darin enthaltenen (H)FCKW-Mengen quantifiziert. Aufgrund der ursprünglichen Zielsetzung der Studie und der mengenmäßigen Bedeutung konzentriert sich die Studie auf XPS- und PU-Hartschäume im Bauwesen.

XPS Dämmstoffe:

Für XPS Platten wurde eine mittlere Dichte von 33 kg/m^3 angenommen. Über den jährlichen Schaumstoffeinsatz (Volumen), die Dichte, die Marktanteile der Treibmittel und den Treibmittelgehalt der Schaumstoffe wurde der jährliche Zuwachs des Treibmittellagers abgeschätzt. Vom Treibmittellager wurden, spezifisch für die jeweiligen Produkte und Treibmittel, die jährlichen Diffusionsverluste abgezogen. Damit ergibt sich für das Jahr 2009 ein Lager von ca. 43,7 kt bzw. 15 000 t-ODP.

PU Dämmstoffe:

Über den jährlichen Schaumstoffeinsatz (Volumen), die Dichte (für PU Sandwichelemente mit 41 kg/m^3 , für andere PU Produkte mit 33 kg/m^3 angenommen), die Marktanteile der Treibmittel und den Treibmittelgehalt der Schaumstoffe wurde der jährliche Zuwachs des Treibmittellagers abgeschätzt. Vom Treibmittellager wurden, spezifisch für die jeweiligen Produkte und Treibmittel, die jährlichen Diffusionsverluste (zwischen 0,35% und 0,69% angenommen) abgezogen.

Für PU Dämmstoffe ergibt sich damit ein Lager von ca. 117,5 kt bzw. 105 000 t-ODP.

Das gesamte ODS Lager in Dämmstoffen des Bauwesens in Deutschland wird auf etwa 120 000 t-ODP geschätzt. Dabei ist ein Großteil der ODP-Mengen (mehr als drei Viertel) in wenigen Anwendungen konzentriert. PU Sandwichelemente werden hauptsächlich als Dach- und Wandelemente im Industriebau und für Kühlhäuser eingesetzt. Die Hauptanwendungsbereiche von PU Dämmplatten sind die Flachdach-, Steildach- und Fußbodendämmung.

Summary

CFCs and HCFCs are controlled substances under European Regulation (EC) No. 1005/2009. Article 22 of that Regulation provides that controlled substances contained in certain products (e.g. insulating materials) must be recovered, if technically and economically feasible, or be destroyed without prior recovery. Annex VII lists specific technologies for destruction, recycling or reclamation.

In Germany, the use of (H)CFCs in insulating materials has been prohibited since 1995 (R 11 and R 12) and 2000 (R 22). At European level, use of HCFCs (141b and 142b) has been banned since 2002 mainly in the production of extruded polystyrene rigid foam and since 2003 in the production of polyurethane foams.

Few data have become available to date on the amounts of (H)CFCs produced and banked up to the time the prohibitions went into effect. The present report therefore provides details on the amounts of (H)CFC-containing insulating materials installed in Germany and estimates the quantities of (H)CFCs still present in them. The study focuses on rigid XPS foam and rigid PU foam used in the construction sector, due to the original objective of the study and the quantitative significance of these foams.

XPS insulating foams:

XPS panels were assumed to have an average density of 33 kg/m³. Based on annual foam use (volume), density, the market shares of the blowing agents, and blowing agent content in the foam, the annual increase in banked amounts of blowing agents was estimated. Annual fugitive losses were deducted from those banks, specific to the relevant products and blowing agents. As result a bank of approximately 43.7 kt or 15 000 t-ODP was estimated for Germany in 2009.

PU insulating foams:

Based on annual foam use (volume), density (assumed to be 41 kg/m³ for PU sandwich panels and 33 kg/m³ for other PU products), the market shares of the blowing agents, and blowing agent content in the foam, the annual increase in banked amounts of blowing agents was estimated. Annual fugitive losses (assumed to be between 0.35% and 0.68%) were deducted from those banks, specific to the relevant products and blowing agents. As result a bank of approximately 117.5 kt or 105 000 t-ODP in PU insulating foams was estimated for Germany.

The entire ODS bank in insulating materials used in construction in Germany was estimated to amount to about 120 000 t-ODP. The bulk of these ODP quantities (more than three quarters) are concentrated in only a few applications. PU sandwich panels are mainly used to insulate roofs and walls in the construction of industrial buildings as well as for cold-storage buildings. PU insulating panels are mainly used to insulate flat roofs, saddle roofs and floors.

1 Einleitung

FCKW sind vollhalogenierte Kohlenwasserstoffe. Das bedeutet jedes Wasserstoffatom der ursprünglichen Kohlenstoffverbindung ist durch ein Fluor- oder Chloratom ersetzt. FCKW wurden bis in die 1990er Jahre in der Industrie auf vielfältige Weise eingesetzt, unter anderem als Treibmittel für Schaumstoffe. FCKW sind sehr beständig, unbrennbar und in der Regel ungiftig. Werden FCKW freigesetzt, steigen sie in die obere Atmosphäre auf, wo sie durch energiereiche UV Strahlung aufgespalten werden. Die dabei entstehenden, reaktiven Chlor- bzw. Fluor-Radikale führen zur Zerstörung der Ozonmoleküle und damit zu einem Abbau der Ozonschicht. Die Ozonschicht bietet der Erde Schutz gegen hochenergetische UV Strahlung, welche beim Menschen unter anderem zu Hautschäden (Sonnenbrand, Hautkrebs,...) und Augenerkrankungen führen kann. Außerdem vermindert die UV-Strahlung die Photosynthese und bedroht dadurch die Grundlage der Nahrungskette. Zusätzlich zu ihrem Ozonabbaupotential haben FCKW auch ein sehr hohes Treibhauspotential.

Wegen dieser Umweltwirkungen wurde der Einsatz von FCKW in Deutschland sukzessive verboten. FCKW wurden zu einem großen Teil durch HFCKW ersetzt. HFCKW sind teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe, bei denen nicht alle Wasserstoffatome der ursprünglichen Kohlenstoffverbindung durch Fluor- oder Chloratome ersetzt werden. HFCKW besitzen ein viel geringeres Ozonabbaupotential als FCKW, aber immer noch ein beträchtliches Treibhauspotential. Seit dem Jahr 2000 ist der HFCKW 22 in Deutschland verboten und seit dem Jahr 2004 sind europaweit alle HFCKW zur Herstellung von Schaumstoffen verboten.

FCKW und HFCKW werden in dem vorliegenden Bericht unter der Sammelbezeichnung (H)FCKW zusammengefasst. International wird die Abkürzung ODS (Ozone Depleting Substances) verwendet. Die Begriffe ODS und (H)FCKW werden in der Studie gleichwertig verwendet.

1.1 Problematik

Durch die internationalen und nationalen Verbote wurde der Einsatz von (H)FCKW in den europäischen Staaten stark eingeschränkt bzw. ausgeschlossen. Inputseitig ist damit in Ländern wie Deutschland, Österreich und der Schweiz das (H)FCKW-Problem als gelöst zu betrachten. Ein Problem stellen jedoch die gespeicherten (H)FCKW Mengen in den noch in Verwendung befindlichen Produkten dar. So wurden diese Stoffe beispielsweise im Industriebau (z.B. Kühlhäuser) verbaut, wo vorzugsweise (H)FCKW geschäumte Polyurethan-Sandwichenelemente zum Einsatz kamen. Auch in Dämmstoffen des Bauwesens ist ein wesentlicher Teil dieser (H)FCKW-Altbestände zu finden. Diese akkumulierten (H)FCKW Mengen können als „(H)FCKW-Altlast“ (FCKW-Lager) bezeichnet werden. Auch in 10 oder 20 Jahren werden die verbauten Dämmstoffe noch erhebliche Mengen an Ozon abbauenden Stoffen enthalten. Werden diese Lager nicht gezielt entsorgt, besteht die Gefahr, dass die

(H)FCKW in die Umwelt gelangen und weiter zum Ozonschichtabbau und zum Treibhauseffekt beitragen.

1.2 Gesetzeslage

Die nationale Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen [FCKWHalonVerbV, 1991] trat bereits am 01.08.1991 in Kraft und sah schrittweise Verbote von Stoffen, die Halogenkohlenwasserstoffe enthielten vor. Für die Erzeugung von Dämmstoffen durfte ab 01.01.1995 bestimmte Ozonschicht abbauenden Stoffe weder verwendet werden noch durften Dämmstoffe, die diese Stoffe enthielten und freisetzen können, in den Verkehr gebracht werden. Der konkrete Anwendungsbereich umfasste die FCKW mit der Kurzbezeichnung R 11, R 12, ... (siehe § 1). Der teilhalogenierte Stoff R22 durfte ab 01.01.2000 nicht mehr verwendet werden. Weitere HFCKW wurden von diesem Gesetz nicht betroffen. Am 01.12.2006 wurde diese Verordnung aufgehoben und durch die Chemikalien-Ozonschichtverordnung (ChemOzonSchichtV) ersetzt, die die europäischen Verordnung (Verordnung (EG) 2037/2000) auf nationaler Ebene ergänzt.

In der europäischen Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen [Verordnung (EG) Nr. 2037/2000, 2000] werden Produktion und Verbrauch, Entsorgung und Emissionskontrolle dieser Substanzen (=geregelt Stoffe) geregelt. Sie gilt seit Oktober 2000 in allen ihren Teilen verbindlich und unmittelbar in jedem Mitgliedstaat. Diese Verordnung verbietet im wesentlichen auch die Verwendung von teilhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffen (HFCKW; Artikel 5, Absatz 1 d; Liste der geregelten Stoffe im Anhang der Verordnung) für die Herstellung von Dämmstoffen aus extrudierten Polystyrol-Hartschaumstoffen (ab 01.01.2002) und Polyurethanschaumstoffen (ab 01.1.2003). Desweiteren enthält sie die Verpflichtung zur Zerstörung bzw. zum Recycling oder Aufarbeitung der ozonschichtgefährdenden Stoffe, wenn sie in Kälte- und Klimaanlage, Wärmepumpen, als Lösungsmittel oder in Brandschutzvorrichtungen eingesetzt sind. Für alle anderen Produkte, die ozonabbauende Stoffe enthalten, sollen alle praktikablen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um ein Austreten von geregelten Stoffen während der Nutzung oder bei Zerstörung bzw. Aufarbeitung zu verhindern oder auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Bezugnehmend auf die Dämmstoffe, besagt diese Verordnung sinngemäß, dass FCKW aus Dämmstoffen „falls praktikabel“ zurückzugewinnen und zu behandeln bzw. zu zerstören sind (Artikel 16, Absatz 3). Die Festlegung, ab wann das Rückgewinnen und Vernichten als praktikabel anzusehen ist, wurde in der Verordnung nicht definiert.

Am 16.09.2009 wurde die Neufassung der europäischen Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen [Verordnung (EG) Nr. 1005/2009, 2010] veröffentlicht. Sie gilt ab 01.01.2010 in allen ihren Teilen verbindlich und unmittelbar in jedem Mitgliedstaat. In der Einleitung wird unter Punkt 27 die Absicht bekundet, die umweltverträgliche Beseitigung und Verwertung von ozonabbauenden Stoffen in Bau- und Abbruchabfällen in der Verordnung besonders zu beachten und Techniken für deren Zerstörung vorzuschreiben. Unter Artikel 22 wird dann die Rückgewinnung und Zerstörung bereits verwendeter geregelter Stoffe gere-

gelt. Demnach müssen geregelte Stoffe, die in Dämmstoffen enthalten sind, nach den im Anhang VII der Verordnung angeführten Technologien zwecks Zerstörung, Recycling oder Aufbereitung zurückgewonnen werden, soweit dies technisch und wirtschaftlich machbar ist, oder sie werden mit Hilfe dieser Technologien ohne vorherige Rückgewinnung zerstört.

Die nationale Chemikalien-Ozonschichtverordnung [ChemOzonSchichtV, 2006] (zuletzt geändert am 20.5.2008) regelt unter § 3 auf nationaler Ebene die Rückgewinnung und Rücknahme verwendeter Stoffe und unter § 4 die Verhinderung des Austritts in die Atmosphäre. Demnach ist der Besitzer von Dämmstoffen, die geregelte Stoffe enthalten, für die Rückgewinnung verantwortlich, darf diese jedoch Dritten übertragen. Hersteller und Vertreiber geregelter Stoffe sind verpflichtet, diese nach Gebrauch zurückzunehmen oder die Rücknahme durch einen von ihnen bestimmten Dritten sicherzustellen. Desweiteren sind über Art und Menge der zurückgenommenen oder entsorgten Stoffe sowie über deren Verbleib Aufzeichnungen zu führen. Für die hier behandelten Dämmstoffe heißt es unter § 4: Bei Wartung, außer Betriebnahme und Entsorgung von Produkten, die geregelte Stoffe in Reinform als Treibmittel in Schaumstoffen enthalten, ist ein Austreten dieser geregelten Stoffe in die Atmosphäre zu verhindern oder auf das dem Stand der Technik entsprechende Maß zu reduzieren.

(H)FCKW sind als gefährliche Stoffe gemäß Chemikaliengesetz [ChemG, 1980] (zuletzt geändert am 02.07.2008) § 3a eingestuft. Diese Einstufung erfolgt aufgrund der europäischen Verordnung 1272/2008 [Verordnung (EG) Nr. 1272/2008, 2008] (gültig seit 06.01.2009) Anhang I, Teil 5 als „Die Ozonschicht schädigend“ mit dem Signalwort „Gefahr“, dem Gefahrenhinweis „EUH059: Die Ozonschicht schädigend“ und den Sicherheitshinweisen „P273, P501“. Diese Einstufung gilt für alle Stoffe im Anhang I der Verordnung (EG) Nr. 1005/2009. (Hinweis: Die Verordnung 1272/2008 ändert am 01.12.2010 die Richtlinien 67/548/EWG ab und hebt sie am 01.06.2015 auf.)

Sämtliche Abfälle werden gemäß der Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis [AVV, 2001] (zuletzt geändert am 01.02.2007) eingestuft. Alle im Europäischen Abfallverzeichnis mit (*) versehenen Abfallarten gelten als gefährliche Abfälle (§ 3, Abs. 1). Von Ihnen wird angenommen, dass sie eine oder mehrere der in Anhang III der Richtlinie über gefährliche Abfälle [Richtlinie 91/689/EWG, 1991] aufgeführten Eigenschaften, die sogenannten H-Kriterien aufweisen (§ 3, Abs. 2). Für (H)FCKW trifft H14 "ökotoxisch" zu: Stoffe und Zubereitungen, die unmittelbare oder mittelbare Gefahren für einen oder mehrere Umweltbereiche darstellen können.

Nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz [KrW-/AbfG, 1996] (Fassung vom 11.08.2009) sind nach §4 Abs.1 Abfälle:

1. in erster Linie zu vermeiden, insbesondere durch die Verminderung ihrer Menge und Schädlichkeit,
2. in zweiter Linie
 - a) stofflich zu verwerten oder
 - b) zur Gewinnung von Energie zu nutzen (energetische Verwertung).

2 Mengenabschätzung

Nachfolgend wird eine Mengenabschätzung des Schaumstoff- und (H)FCKW Bestandes in Deutschland durchgeführt, welche sich auf Schlüsselprodukte und deren Hauptanwendungsgebiete konzentriert.

Die Daten sind mit den führenden Dämmstoffproduzenten abgestimmt, wobei die seit dem Verkauf verstrichene Zeit nur eine grobe Mengenschätzung zuließ.

2.1 Produktübersicht

Geschäumte Kunststoffe können nach Material und Anwendungsgebiet wie folgt unterschieden werden (ohne EPS) [Obernosterer et al., 2007]:

- PU-Hartschaum
- PU-Weichschaum (flexibel)
- PU-Integralschaum (z.B. Lenkrad)
- XPS-Schaum für Wärmedämmung
- XPS-Schaum für Verpackung
- Polyolefin-Schäume (Polyethylen- und Polypropylenschaum) für Wärmedämmung
- Polyolefin-Schäume (Polyethylen- und Polypropylenschaum) für Verpackung
- Phenolschäume



Quelle: RMA 2009

Die Aufgabenstellung dieser Studie konzentriert sich auf Hartschäume für Dämmstoffe im Bauwesen.

PU-Weichschaum wird im Bauwesen kaum eingesetzt, weist eine vernachlässigbare Lagerbildung wegen Ausgasung während des Einbaus auf und wird aus diesen Gründen hier nicht näher untersucht.

PU-Integralschaum wird als Weich-, Halbhart- und Hart-Integralschaum hergestellt findet im Bauwesen nur als Hart-Integralschaum Anwendung z.B. in Form von Fensterrahmen, Formteilen. Die Einsatzmengen sind als gering einzustufen.

XPS-Folie fällt aufgrund ihrer Anwendungsgebiete (z.B. Verpackungschips und -folien) nicht unter die hier betrachteten Dämmschäume. Außerdem verliert sie binnen einem Jahr nach der Produktion 100% der eingesetzten Treibmittel und ist daher für eine Analyse des Treibmittellagers nicht relevant.

Polyolefinschäume und Phenolschäume wurden (z.B. aufgrund guter Brandeigenschaften von Phenolschäumen) auch für die Wärmedämmung von Gebäuden und Rohren eingesetzt und enthalten HFCKW-141b oder Kohlenwasserstoffe als Treibmittel. Phenolschäume und Polyolefinschäume (PE, PP) besitzen jedoch derzeit einen sehr geringen Marktanteil aller Kunststoffschäume [Ozone Secretariat, 2003] und werden daher nicht betrachtet.

Aufgrund der ursprünglichen Zielsetzung der Studie und der mengenmäßigen Bedeutung fokussiert sich die Untersuchung auf XPS- und PU-Hartschaum im Bauwesen.

2.2 XPS Hartschaum

2.2.1 Anwendungsgebiete für XPS Hartschaum

Im Hochbau wird XPS-Hartschaum häufig für stark beanspruchte, erdberührende Bereiche in der Außendämmung eingesetzt: unter der Bodenplatte des Gebäudes und als Kellerdämmung gegen das Erdreich (Perimeterdämmung, Bodenplatte). Weitere Einsatzgebiete sind das Umkehrdach, das einschalige, nicht belüftete Flachdach oder ein flach geneigtes Dach.

Neben den typischen Dämmstoff-Produkten für das Bauwesen werden XPS-Hartschäume für spezielle Anwendungen eingesetzt. Diese Spezialprodukte repräsentieren insgesamt weniger als 10 % des deutschen XPS-Dämmstoffmarktes. Sie können in folgende Bereiche unterteilt werden:

- Paneele und Sandwich-Elemente (mit Verkleidungen aus Stahl, Aluminium oder Holz);
- Baumaterial im Nassbereich (zur Verkleidung mit Fliesen);
- Kühlfahrzeuge, Kühlcontainer, Kühlhäuser;
- Rohrschalen (für die Isolierung von Fernwärmerohren sind XPS-Hartschäume wegen ihrer Anwendungsgrenztemperatur von ca. 75°C nicht geeignet).



Quelle: RMA 2009

Tabelle 2-1: XPS-Anwendungen Deutschland, 1992 [Alicke & Boy, 1992]

Anteile am XPS-Lager	Anwendungsgebiet, Bauteil
20%	Umkehrdach (aber auch für Warmdach möglich)
9%	Wärmebrückendämmung (Fassade, Fensteranschluss)
10%	Kerndämmung (Wanddämmung bei 2-schaligem Aufbau)
13%	Deckendämmung (Kellerdecke oder Decke über Durchfahrt)
26%	Perimeter
14%	Boden (oberhalb und unterhalb der Bodenplatte)
4%	Verbundplatten
1%	Verkehrswege
3%	Sonstige: Sportstätten, Ställe
100%	Summe

Abbildung 2-1 zeigt verschiedene Literaturangaben ([Eicke-Henning, 1997], [Menrad et al., 2006], [Schwaab et al., 2004], [Starzner & Wurmer-Weiß, 2009], [Gellert, 2009]) für den Dämmstoffabsatz (XPS-Hartschaum, (H)FCKW-haltig und (H)FCKW-frei) in Deutschland. Die meisten Quellen verweisen auf die Baumarktstatistik des GDI (Gesamtverband der Dämmstoffindustrie).

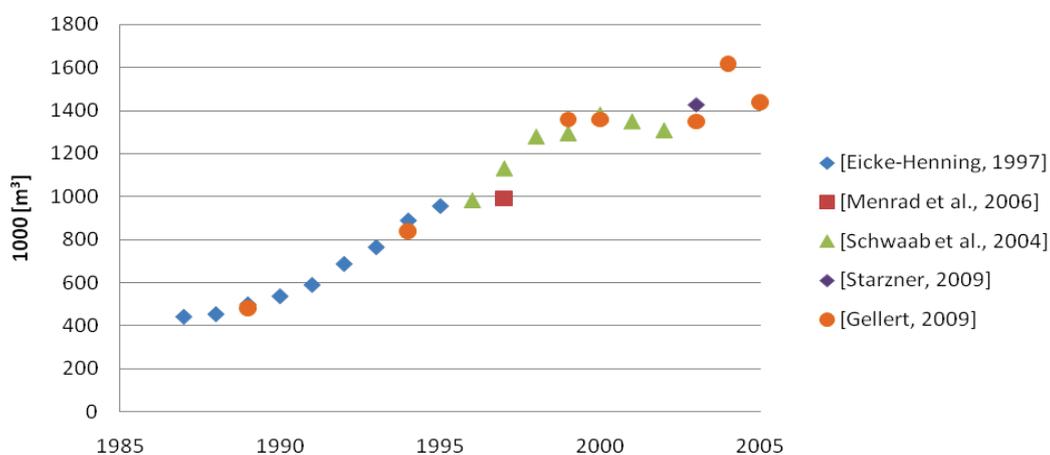


Abbildung 2-1: Dämmstoffabsatz (XPS-Hartschaum, gesamt) von 1987 bis 2005 in Deutschland, ([Eicke-Henning, 1997], [Menrad et al., 2006], [Schwaab et al., 2004], [Starzner & Wurmer-Weiß, 2009])

2.2.2 Lagerabschätzung für XPS Hartschaum

Laut der Auskunft der Fachvereinigung Polystyrol Extruderschaumstoff e.V. wurde XPS in Deutschland etwa seit Mitte der 1960er Jahre eingesetzt. Da im Rahmen dieser Studie keine Daten zum Dämmstoffeinsatz vor 1987 gefunden werden konnten, wurde zur Abschätzung des Lagerbestandes von 1965 bis 1987 ein lineares Ansteigen des Dämmstoffbedarfs angenommen (Abbildung 2-1). Diese Annahme wurde beim Fachgespräch bestätigt. Die daraus entstehenden Unsicherheiten werden unten beschrieben.

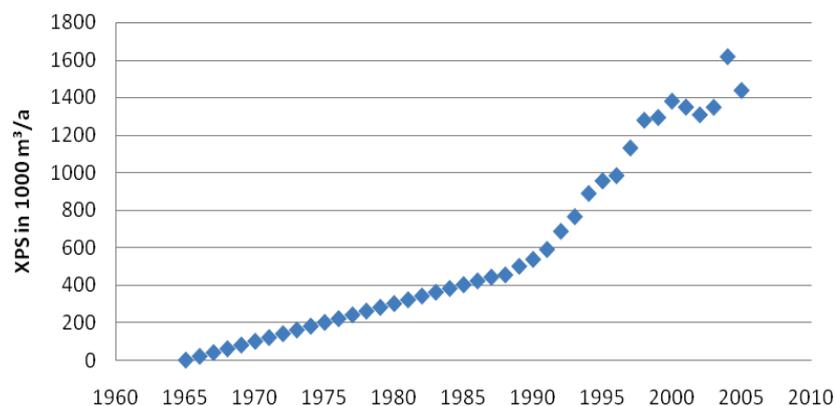


Abbildung 2-2: XPS Dämmstoffeinsatz (gesamt) in Deutschland, 1965-2005

Bis 1990 wurde FCKW 12 als Treibmittel für XPS Hartschaum verwendet. Danach ging man auf HFCKW über, wobei zur XPS Produktion hauptsächlich HFCKW 22 und HFCKW 142b eingesetzt wurden. Nach dem HFCKW Verwendungsverbot kommen HFKW (HFKW 152a, HFKW 134a) und HFKW-freie, alternative Treibmittel (CO₂, Ethanol, Butan,...) zur Anwendung.

Zur Abschätzung der ODS Lager in Deutschland wurden basierend auf Literaturdaten ([Harnisch et al., 2003], [BiPRO, 2008], [Schwarz, 2007], [Schwarz, 2005b], [Schwarz, 2005a], [Schwaab et al., 2004], [Schwarz & Leisewitz, 1999], [Schwarz & Leisewitz, 1995]) Marktanteile der verwendeten Treibmittel angenommen (Tabelle 2-2).

Die Bestandsänderung durch ODS in abgebrochenen Dämmstoffen wurde in der vorliegenden Lagerabschätzung nicht berücksichtigt. Da es sich bei Dämmstoffen um langlebige Güter handelt werden die abgebrochenen Mengen als vergleichsweise klein eingeschätzt.

Tabelle 2-2: Annahmen für Marktanteile der Treibmittel (XPS-Hartschaum) in Deutschland, 1980 bis 2005.

	XPS					Alternativen
	FCKW 12	H-FCKW 22	H-FCKW 142b	H-FKW 152a	H-FKW 134a	
1980	100%					
1981	100%					
1982	100%					
1983	100%					
1984	100%					
1985	100%					
1986	100%					
1987	100%					
1988	100%					
1989	100%					
1990		10%	90%			
1991		10%	90%			
1992		10%	90%			
1993		10%	90%			
1994		10%	90%			
1995		10%	90%			
1996		10%	90%			
1997		10%	90%			
1998		10%	90%			
1999		10%	90%			
2000				10%	5%	85%
2001				10%	5%	85%
2002				10%	5%	85%
2003				10%	5%	85%
2004				10%	5%	85%
2005				10%	5%	85%

Annahmen zur Abschätzung des (H)FCKW Bestandes basieren auf [Obernosterer et al., 2007] (siehe Tabelle). Für XPS Platten wurde eine mittlere Dichte von 33 kg/m³ angenommen. Über den jährlichen Schaumstoffeinsatz (Volumen), die Dichte, die Marktanteile der Treibmittel und den Treibmittelgehalt der Schaumstoffe wurde der jährliche Zuwachs des Treibmittellagers abgeschätzt. Vom Treibmittellager wurden, spezifisch für die jeweiligen Produkte und Treibmittel, die jährlichen Diffusionsverluste abgezogen.

Tabelle 2-3: Berechnungsannahmen für XPS, basierend auf [Obernosterer et al., 2007]

Treibmittel	Treibmittelgehalt Schaum (Gewichtsanteil)	Jährlicher Diffusions- verlust	ODP
FCKW-12	9%	1,25%	1,00
HFCKW-22	11%	2,73%	0,055
HFCKW-142b	11%	0,99%	0,065
HFCKW-134a	6,5%	0,81%	0,00
HFCKW-152a	6,5%	2,73%	0,00

Basierend auf oben genannten Annahmen ergibt sich für das Jahr 2003 ein XPS Hartschaum Bestand von 679.000 t (ca. 20,6 Mio. m³). Bei einer Einwohnerzahl von 82,5 Mio.

[Statistisches Bundesamt Deutschland, 2007] errechnet sich daraus ein Pro-Kopf-Lager von 8,2 kg XPS je Einwohner. In [Obernosterer et al., 2007] wurde das Pro-Kopf-Lager für Österreich mit 27 kg XPS je Einwohner abgeschätzt. Das Lager ist damit etwa um den Faktor 3 größer als in Deutschland, was mit dem in [Obernosterer et al., 2007] angegebenen Faktor übereinstimmt. Aus den für Deutschland ermittelten Mengen, den für Deutschland getroffenen Annahmen für die Marktanteile der Treibmittel und den in [Obernosterer et al., 2007] getroffenen Annahmen (Treibmittelanteile im Schaumstoff, Diffusionsraten,...) kann der Bestand an ODS in Deutschland für das Jahr 2009 mit 41.500 t geschätzt werden, was einem ODP von 14.700 t-ODP entspricht.

Abbildung 2-3 zeigt die Lagerentwicklung Ozon abbauender Substanzen (ODS) in XPS Hartschaum, angegeben in t-ODP. Bis zum Umstieg von FCKW auf HFCKW im Jahr 1990 ist ein stetiges Anwachsen des Lagers erkennbar. Zwischen 1990 und 2000 halten sich Diffusionsverluste aus dem FCKW Lager und Lagerzugänge durch HFCKW Verwendung etwa die Waage. Nach 2000 erlaubt die Verwendung von FCKW und HFCKW-freien Treibmitteln ein Absinken des ODS Bestandes.

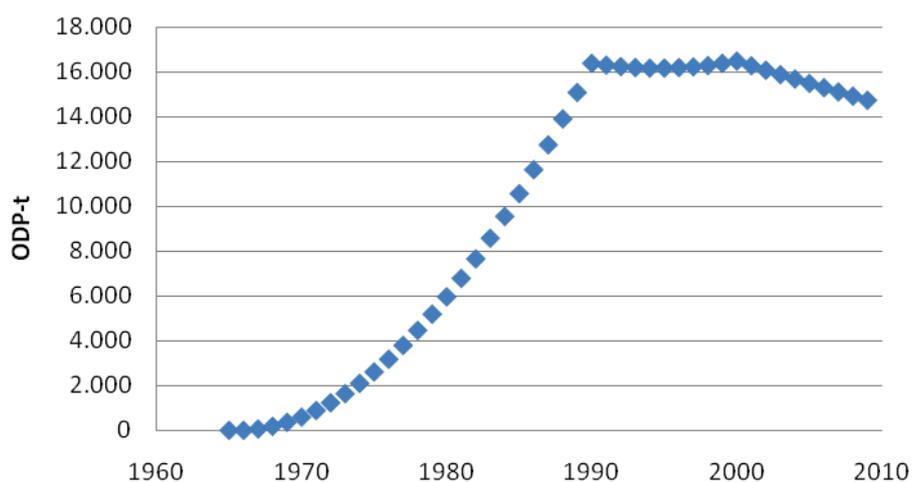


Abbildung 2-3: Lagerentwicklung ODS in XPS Hartschaum, angegeben in ODP-t, 1965 bis 2009

Aus der Tatsache, dass der XPS Verbrauch vor 1987 auf relativ unsicheren Annahmen beruht und FCKW nur bis 1990 eingesetzt wurde, ergeben sich relativ hohe Unsicherheiten in Bezug auf das FCKW Lager in XPS Dämmstoffen. Bei Annahme eines konstanten Konsums ab Mitte der 1960 Jahre auf dem Niveau von 1987 ergibt sich ein um ca. 60% größeres FCKW Lager. Die wesentlichen Aussagen und Schlussfolgerungen (Absatz 2.4) bleiben davon jedoch unberührt.

2.3 PU Hartschaum

2.3.1 Anwendungsgebiete für PU Hartschaum

PU Hartschaumplatten: Hauptanwendungsbereich von PU Hartschaumplatten ist die Flach- und Steildachdämmung, darüber hinaus werden sie unter anderem zur Fußbodendämmung, Kellerdeckendämmung, als Perimeterdämmung und im Wandbereich eingesetzt. [BiPRO, 2008].

PU Rohrschaum: PU Rohrdämmungen werden vor allem bei Nah- und Fernwärmerohren eingesetzt. Darüber hinaus kommen sie in geringerem Umfang im Anlagenbau, im Pipelinebau sowie im Heizungs- und Sanitärbereich zur Anwendung [BiPRO, 2008].



PU Sandwichelemente: PU Sandwichelemente sind beidseitig mit metallischen Deckschichten beschichtete, selbsttragende PU Platten. Der Hauptanwendungsbereich sind Dach- und Wandelemente für den Industriebau und Elemente für Kühlhäuser [BiPRO, 2008].



PU Spritzschaum: PU Spritzschaum wird vor Ort maschinell aufgebracht und vor allem zur Dachdämmung (Flachdach, Steildach) eingesetzt.

PU Montageschaum: PU Montageschaum wird mittels Sprühdosen zum Einschäumen von Türzargen, Fensterrahmen, Rollladenkästen und Ähnlichem, sowie zum Ausschäumen von Hohlräumen eingesetzt. Ein Großteil des eingesetzten Treibmittels entweicht sofort, die im Schaum verbleibende Menge emittiert binnen einem Jahr [Schwarz, 2005a]. PU Montageschaum baut also kaum Lager auf und wird daher in der vorliegenden Mengenabschätzung nicht berücksichtigt.

PU Gießschaum: PU Gießschaum wird in Industrieanlagen zum Ausschäumen von Hohlräumen bei Behältern und Anlagen eingesetzt. Da an den Schaum keine Wärmedämmanforderungen bestehen, reicht das bei der Reaktion entstehende CO₂ als Treibmittel aus. PU Gießschaum wird daher in der vorliegenden Mengenabschätzung nicht berücksichtigt.

In Tabelle 2-4 wird der Verbrauch von PU Hartschaum für Bauzwecke im Jahr 1995 (ohne Montageschaum) dargestellt.

Tabelle 2-4: Verbrauch von PU Hartschaum für Bauzwecke 1995 (ohne Montageschaum),
Quelle: [Schwarz & Leisewitz, 1995]

	Volumen [m ³]	Volumensanteil
Dämmplatten/Rohrdämmung	680 000	57%
Sandwichelemente	350 000	29%
Gießschaum	80 000	7%
Spritzschaum	90 000	8%

Abbildung 2-4 zeigt verschiedene Literaturangaben ([Eicke-Henning, 1997], [Menrad et al., 2006], [Schwaab et al., 2004], [Starzner & Wurmer-Weiß, 2009], [Gellert, 2009]) für den Dämmstoffabsatz (PU-Hartschaum, (H)FCKW-haltig und (H)FCKW-frei) in Deutschland. Die meisten Quellen verweisen auf die Baumarktstatistik des GDI (Gesamtverband der Dämmstoffindustrie).

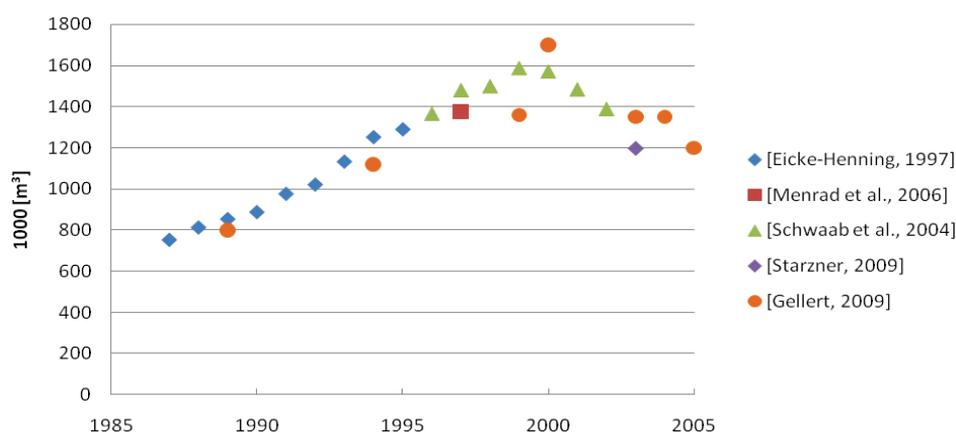


Abbildung 2-4: Dämmstoffabsatz (PU-Hartschaum, gesamt) von 1987 bis 2005 in Deutschland, ([Eicke-Henning, 1997], [Menrad et al., 2006], [Schwaab et al., 2004], [Starzner & Wurmer-Weiß, 2009])

2.3.2 Lagerabschätzung für PU Hartschaum

Nach Angaben des Industrieverband Polyurethan-Hartschaum wurden PU Dämmstoffe in Deutschland ab Mitte der 1960er Jahre verwendet. Nach einem schnellen Wachstum bis Anfang der 1970er Jahre blieb das Produktionsvolumen mit Schwankungen bis Mitte der 1980er Jahre etwa konstant (Abbildung 2-5). Ab 1987 wurden die Daten aus Abbildung 2-4 verwendet.

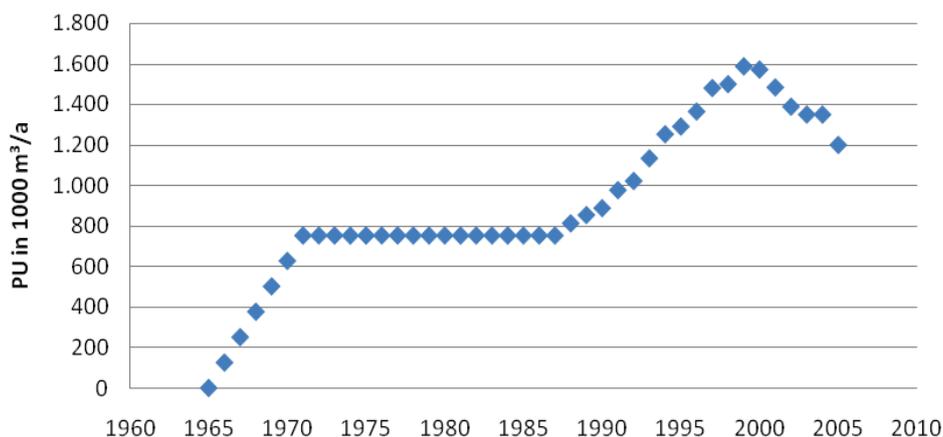


Abbildung 2-5: PU Dämmstoffeinsatz in Deutschland, 1965-2005

Für die Mengenabschätzung werden die ermittelten Dämmstoffvolumen (Abbildung 2-5) in Produktgruppen aufgeteilt und über die jeweiligen Treibmittelanteile und Diffusionsverluste das Lager abgeschätzt. Als Basis für die Aufteilung in Produktgruppen liegen zwei Angaben aus unterschiedlichen Quellen und aus unterschiedlichen Jahren vor. (Tabelle 2-4, Tabelle 2-1). Es werden Lagerabschätzungen mit beiden Aufteilungen gerechnet und die Ergebnisse in 2.4 miteinander verglichen. Wie sich in der Diskussion mit Vertretern der Dämmstoffindustrie herausstellte, sind in der GDI Statistik keine technischen Anwendungen (Rohrschaum,...) und keine Ortschäume enthalten. Da dies Anwendungen betrifft, bei denen die Treibmittel relativ rasch ausdiffundieren, sind die sich daraus ergebenden Änderungen auf die Mengenabschätzung als gering einzustufen. Es ergeben sich daraus keine Auswirkungen auf die wesentlichen Aussagen dieser Studie.

Tabelle 2-5: Geschätzte Anteile am PU Dämmstoffmarkt, 2009, Angaben IVPU

	Anteil
PU Dämmplatten mit flexiblen Deckschichten und Block	40-50%
PU Sandwichelemente	40-50%
PU Dämmstoffe für Haus- und Betriebstechnische Anlagen	10-20%

Bis Mitte der Neunzigerjahre wurde FCKW 11 als Treibmittel für PU Hartschaum verwendet. Nach dessen Verbot wurde bei der Plattenproduktion hauptsächlich der halogenfreie Kohlenwasserstoff Pentan als Treibmittel verwendet. Bis zum HFCKW Verbot wurde ein Teil der Platten mit HFCKW 141b hergestellt. Zur Produktion von Sandwichplatten wurden zwischen 1995 und 2000 hauptsächlich HFCKW 141b, HFCKW 22 und HFCKW142b verwendet.

Zur Abschätzung der ODS Lager wurden basierend auf Literaturdaten ([Harnisch et al., 2003], [BiPRO, 2008], [Schwarz, 2007], [Schwarz, 2005b], [Schwarz, 2005a], [Schwaab et al., 2004], [Schwarz & Leisewitz, 1999], [Schwarz & Leisewitz, 1995]) Marktanteile der verwendeten Treibmittel angenommen (Tabelle 2-6, Tabelle 2-7). In der Diskussion im Fachgespräch nannten einige Teilnehmer, dass ein Großteil der in Deutschland ansässigen Dämmstoffproduzenten bereits vor den gesetzlichen Fristen auf alternative Treibmittel umgestiegen ist. Für die Mengenabschätzung liegt diese Unsicherheit im Toleranzbereich. Allerdings wird

dieser Umstand bei der Diskussion zum Erkennen (H)FCKW-haltiger Dämmmaterialien berücksichtigt.

Die Bestandsänderung durch ODS in abgebrochenen Dämmstoffen wurde in der vorliegenden Lagerabschätzung nicht berücksichtigt. Da es sich bei Dämmstoffen um langlebige Güter handelt werden die abgebrochenen Mengen als vergleichsweise klein eingeschätzt.

Tabelle 2-6: Annahmen für Marktanteile der Treibmittel (PU-Hartschaumplatten) in Deutschland, 1980 bis 2005

	PUR-Platten							Alternativen
	FCKW 11	H-FCKW 141b	H-FCKW 22	H-FCKW 142b	H-FKW 134a	H-FKW 365mfc	H-FKW 227ea	
1980	100%							
1981	100%							
1982	100%							
1983	100%							
1984	100%							
1985	100%							
1986	100%							
1987	100%							
1988	100%							
1989	100%							
1990	100%							
1991	100%							
1992	100%							
1993	100%							
1994	100%							
1995		10%						90%
1996		10%						90%
1997		10%						90%
1998		10%						90%
1999		10%						90%
2000					10%			90%
2001					10%			90%
2002					10%			90%
2003						4,50%	0,50%	95%
2004						4,50%	0,50%	95%
2005						4,50%	0,50%	95%

Tabelle 2-7: Annahmen für Marktanteile der Treibmittel (PU-Sandwichelemente) in Deutschland, 1980 bis 2005

	PUR-Sandwich						Alternativen
	FCKW 11	H-FCKW 141b	H-FCKW 22	H-FCKW 142b	H-FKW 134a	H-FKW 365mfc	
1980	100%						
1981	100%						
1982	100%						
1983	100%						
1984	100%						
1985	100%						
1986	100%						
1987	100%						
1988	100%						
1989	100%						
1990	100%						
1991	100%						
1992	100%						
1993	100%						
1994	100%						
1995		37%	25%	38%			
1996		37%	25%	38%			
1997		37%	25%	38%			
1998		33%	23%	34%	10%		
1999		33%	23%	34%	10%		
2000					50%		50%
2001					50%		50%
2002					50%		50%
2003					50%		50%
2004							100%
2005							100%

Annahmen zur Abschätzung des (H)FCKW Bestandes basieren auf [Obernosterer et al., 2007] (siehe Tabelle). Die mittlere Dichte der Schaumstoffe wurde für PU Sandwichelemente mit 41 kg/m³, für andere PU Produkte mit 33 kg/m³ angenommen. Über den jährlichen Schaumstoffeinsatz (Volumen), die Dichte, die Marktanteile der Treibmittel und den Treibmittelgehalt der Schaumstoffe wurde der jährliche Zuwachs des Treibmittellagers abgeschätzt. Vom Treibmittellager wurden, spezifisch für die jeweiligen Produkte und Treibmittel, die jährlichen Diffusionsverluste abgezogen.

Tabelle 2-8: Berechnungsannahmen für PU, basierend auf [Obernosterer et al., 2007]

Treibmittel	Treibmittelgehalt Schaum (Gewichtsanteil)	Jährlicher Diffusions- verlust	ODP
PU Sandwich:			
FCKW-11	15%	0,35%	1,00
HFCKW-22	8%	0,35%	0,055
HFCKW-141b	8%	0,35%	0,110
HFCKW-142b	8%	0,35%	0,065
HFCKW-134a	3%	0,35%	0,00
Andere PU Produkte:			
FCKW-11	15%	0,69%	1,00
HFCKW-141b	8%	0,46%	0,11
HFCKW-134a	6%	0,46%	0,00
HFCKW-365mfc	3%	0,46%	0,00
HFCKW-227ea	3%	0,46%	0,00

Basierend auf oben genannten Annahmen ergibt sich für das Jahr 2003 ein PU-Hartschaum Bestand von 1.255.000 t (34,6 Mio. m³). Bei einer Einwohnerzahl von 82,5 Mio. [Statistisches Bundesamt Deutschland, 2007] errechnet sich daraus ein Pro-Kopf-Lager von 15,2 kg PU-Hartschaum je Einwohner. In [Obernosterer et al., 2007] wurde das Pro-Kopf-Lager für Österreich mit 36 kg je Einwohner abgeschätzt. Das Lager ist damit mehr als doppelt so groß wie in Deutschland. Aus den für Deutschland ermittelten Mengen, den für Deutschland getroffenen Annahmen für die Marktanteile der Treibmittel und den in [Obernosterer et al., 2007] getroffenen Annahmen (Treibmittelanteile im Schaumstoff, Diffusionsraten,...) kann der Bestand an ODS in Deutschland für das Jahr 2009 mit 115.000 t abgeschätzt werden, was einem ODP von 105.000 t-ODP entspricht.

Abbildung 2-6 zeigt die Lagerentwicklung Ozon abbauender Substanzen (ODS) in PU-Hartschaum, angegeben in t-ODP. Bis zum FCKW Verbot im Jahr 1995 ist ein stetiges Anwachsen des Lagers erkennbar. Durch die weitgehende Verwendung von halogenfreien Treibmitteln überwiegen danach die Diffusionsverluste und das ODS Lager nimmt ab.

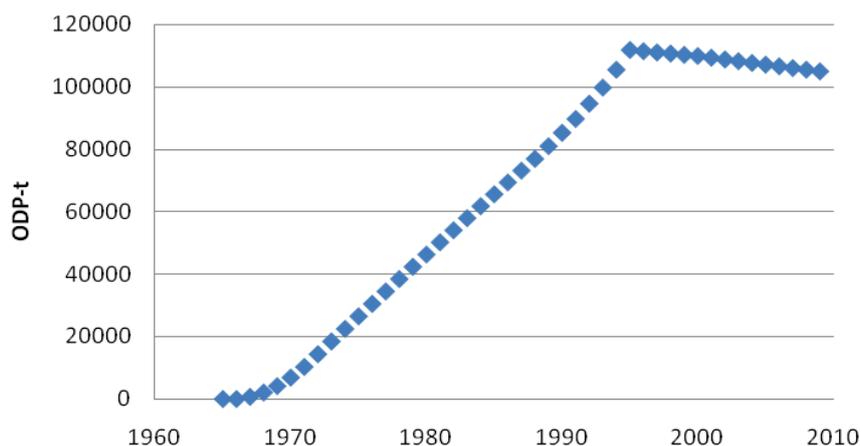


Abbildung 2-6: Lagerentwicklung ODS in PU Hartschaum, angegeben in ODP-t, 1965 bis 2009

2.4 Ergebnisse der Mengenabschätzung

Für XPS Dämmstoffe ergibt sich für 2009 ein Lager von ca. 15.000 t-ODP und für PU Dämmstoffe ergibt sich ein Lager von ca. 105.000 t-ODP. Das gesamte ODS Lager in Dämmstoffen des Bauwesens kann also mit 120.000 t-ODP abgeschätzt werden. Diese Menge entspricht etwa dem ODP von 285 Mio. Haushaltskühlgeräten (Dämmung + Kältemittel)

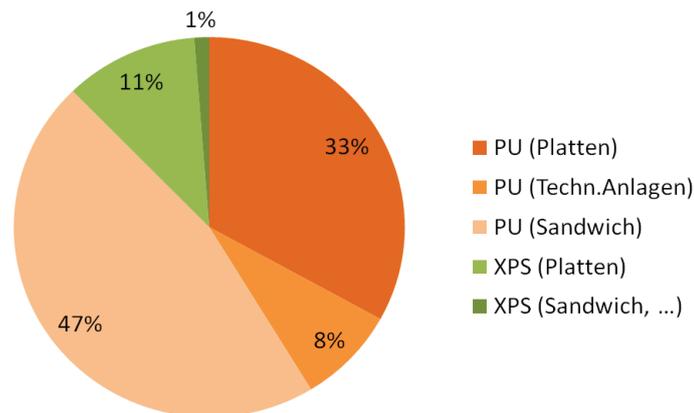


Abbildung 2-7: Aufteilung des ODP Lagers auf Basis der Marktanteile aus Tabelle 2-5 (Angaben IVP, 2009)

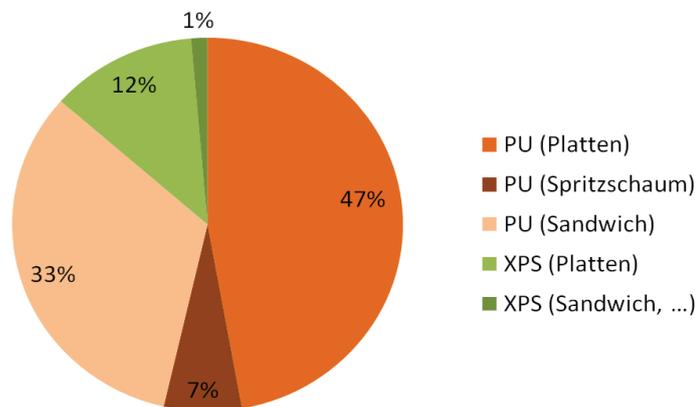


Abbildung 2-8: Aufteilung des ODP Lagers auf Basis der Marktanteile aus Tabelle 2-4 ([Schwarz & Leisewitz, 1995])

Obwohl sich Abbildung 2-7 und Abbildung 2-8 im Detail unterscheiden, lassen sich daraus doch im Wesentlichen dieselben Schlussfolgerungen ziehen. Die im Hinblick auf das ODP wesentlichsten Produkte im Bauwesen sind PU Sandwichelemente und PU Hartschaumplatten, welche in Abhängigkeit von den zugrundeliegenden Modellannahmen, jeweils zwischen einem Drittel und fast der Hälfte des Lagers ausmachen. Schon deutlich geringer ist der Bei-

trag von XPS Hartschaumplatten, welche etwas mehr als 10% des ODS Lagers darstellen. Zudem stellen PU Dämmstoffe für Haus- und Betriebstechnische Anlagen (Fernwärmeleitungen,...) sowie PU Spritzschaum (Dachspritzschaum) Anteile mit nennenswertem ODS Lager dar.

Somit ist festzustellen, dass sich ein Großteil des ODP (mehr als drei Viertel) in wenigen Anwendungen konzentriert. PU Sandwichelemente werden hauptsächlich als Dach- und Wandelemente im Industriebau und für Kühlhäuser eingesetzt. Die Hauptanwendungsbereiche von PU Dämmplatten sind die Flachdach-, Steildach- und Fußbodendämmung.

3 Literaturverzeichnis

Alicke, G.; Boy, E. (1992) H-FCKW als Treibmittel für XPS-Schaum. In: Alternativen zu FCKW und Halonen. Tagungsband der Internationalen Konferenz in Berlin 1992. BASF-Aktiengesellschaft.

AVV (2001) Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis. Abfallverzeichnis-Verordnung. 10.12.2001.

BiPRO (2008) Stand des Einsatzes von halogenfreien Treibmitteln in Schäumen vor dem Hintergrund des Art. 10 (2) d) der Verordnung (EG) 842/2006. BiPRO Beratungsgesellschaft für integrierte Problemlösungen. Dessau.

ChemG (1980) Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen. Chemikaliengesetz. 16.09.1980.

ChemOzonSchichtV (2006) Verordnung über Stoffe, die die Ozonschicht schädigen. Chemikalien-Ozonschichtverordnung. 1.12.2006.

Eicke-Henning, W. (1997) Neue Dämmstoffe - (k)eine Alternative?

FCKWHalonVerbV (1991) Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen. FCKW-Halon-Verbots-Verordnung. 01.08.1991.

Gellert, R. (2009) Zulassungen und Zertifikate von Dämmstoffen, CE-Zeichen. Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München.

Harnisch, J.; Schwarz, W.; Fabian, P.; Höhne, N.; Jenseit, W.; Jordan, A.; Koch, M.; Rheinberger, U.; Wartmann, S. (2003) Risiken und Nutzen von fluorierten Treibhausgasen in Techniken und Produkten unter besonderer Berücksichtigung der stoffintrinsic Eigenschaften. Umweltbundesamt. Berlin.

KrW-/AbfG (1996) Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen. Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz. 6.10.1996.

Menrad, K.; Decker, T.; Gabriel, A.; Kilburg, S.; Langer, E.; Schmidt, B.; Zerhoch, M. (2006) Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen – Markt, makroökonomische Effekte und Verbraucherakzeptanz. Fachhochschule

Weihenstephan, Professur für Marketing und Management Nachwachsender Rohstoffe. Straubing.

NachwV (2007) Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen. Nachweisverordnung. 01.02.2007.

Obernosterer, R.; Smutny, R.; Jäger, E. (2007) Nachhaltige FCKW Bewirtschaftung Österreich. Grundlagen für die Umsetzung von Rückbaumaßnahmen für die noch in Verwendung befindlichen Stoffe mit Ozonzerstörungspotenzial des Bauwesens. Endbericht. Ressourcen Management Agentur (RMA). Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung. Villach.

Ozone Secretariat (2003) Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. United Nations Environment Programme (UNEP). 2002 Report of the Rigid and Flexible Foams. Technical Options Committee. 2002 Assessment. United Nations Environment Programme. Nairobi.

Richtlinie 91/689/EWG (1991) Richtlinie des Europäischen Rates über gefährliche Abfälle. 12.12.1991.

Schwaab, K.; Dettling, F.; Bernhardt, D.; Elsner, C.; Sartorius, R.; Reimann, K.; Remus, R.; Plehn, W. (2004) Fluorierte Treibhausgase in Produkten und Verfahren. Technische Maßnahmen zum Klimaschutz. Umweltbundesamt. Berlin.

Schwarz, W. (2005a) Emissionen und Emissionsprognose von H-FKW, FKW und SF6 in Deutschland - Aktueller Stand und Entwicklung eines Systems zur jährlichen Ermittlung. Emissionsdaten bis zum Jahr 2003 und Emissionsprognosen für die Jahre 2010 und 2020. Öko-Recherche Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH. Frankfurt/Main.

Schwarz, W. (2005b) 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). Öko-Recherche Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH. 14/05. Frankfurt/Main.

Schwarz, W. (2007) Daten von H-FKW, FKW und SF6 für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für die Berichtsjahre 2004 und 2005. F-Gas-Emissionen 2004/2005 und Unsicherheitsbestimmung im ZSE. Öko-Recherche Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH. Frankfurt/Main.

Schwarz, W.; Leisewitz, A. (1995) Keine Entwarnung für Ozonschicht und Klima. Verbrauchsprognose 1995 für FCKW, H-FCKW und FKW Öko-Recherche Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH. Frankfurt/Main.

Schwarz, W.; Leisewitz, A. (1999) Emissionen und Minderungspotential von HFKW, FKW und SF6 in Deutschland. Öko-Recherche. Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH. 29841256. Forschungsbericht. Frankfurt/Main.

Starzner, S.; Wurmer-Weiß, P. (2009) WECOBIS.Ökologisches Baustoffinformationssystem. Dämmstoffe. Online im Internet:
<http://wecobis.iai.fzk.de/cms/content/site/wecobis/Home/Bauproduktgruppen/Daemmstoffe>
(Stand 11.11.2009).

Statistisches Bundesamt Deutschland (2007) Statistisches Jahrbuch 2007. Berlin.

Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 (2010) Europäische Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen (Neufassung). 01.01.2010.

Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (2008) Europäische Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. 06.01.2009.

Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 (2000) Europäischen Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen. 01.10.2000.