

Ökologische Betrachtung der Herstellung und Anwendung von extrudiertem Polystyrol-Hartschaumstoff (XPS)

B. Wolff, R. Stadler, H.-J. Schröder
BASF Aktiengesellschaft
Ludwigshafen

Kurzfassung:

Für die Herstellung und Anwendung von extrudierten Polystyrolschaumstoffen werden ökologische Bewertungen durchgeführt. Mögliche Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf die Umwelt und mögliche Beeinträchtigungen des menschlichen Wohlbefindens werden untersucht.

Bereits mit der Einführung von XPS mit HFCKW wurde das Ozonabbaupotential gegenüber Material, das mit FCKW hergestellt wurde, um 95% reduziert und damit ein wesentlicher Beitrag zum Umweltschutz geleistet. Nach langjährigen Entwicklungsarbeiten ist nun in der Treibmittelfrage der entscheidende Durchbruch gelungen. Die neue XPS-Generation wird mit Kohlendioxid hergestellt und kommt so völlig ohne halogenierte Treibmittel aus.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß von XPS bei der Herstellung wie auch bei der Verwendung für den Menschen und die Umwelt keinerlei Gefährdung ausgeht, und daß der ökologische Nutzen den Aufwand weitaus überkompensiert.

1. Was ist extrudierter Polystyrol-Hartschaumstoff (XPS)?

XPS ist ein geschlossenzelliger Schaumstoff auf der Basis von thermoplastischem Polystyrol, der in einem kontinuierlichen Extrusionsprozeß in Plattenform hergestellt wird.

1.1 Herstellung

Durch das Extrusionsverfahren entsteht eine gleichförmige, geschlossenzellige Schaumstruktur aus polyedrischen Zellen mit einem Durchmesser von ca. 0,05 bis 0,5 mm (je nach Schaumtyp). Die Zellwände haben eine Dicke von ca. 1 µm. XPS besteht zu 97 Volumen-% aus Hohlraum, die Zellwände nehmen lediglich 3% des Volumens ein.

1.2 Eigenschaften

XPS zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Gutes Wärmedämmvermögen
- Hohe Druckfestigkeiten von 0,15 bis 0,7 N/mm²
- Geringe Wasseraufnahme
- Unverrottbarkeit
- elastisch-plastische Verformbarkeit.

1.3 Anwendungen

Durch die spezielle Eigenschaftskombination überwiegen feuchte- und druckbeanspruchte Anwendungen, wie die Dämmung von Keller Außenwänden im erdberührten Bereich (Perimeterdämmung), die Wärmedämmung von Flachdächern nach dem Umkehrdachprinzip (Kiesdächer, begehbare Terrassen, befahrbare Parkdächer, bepflanzte Gründächer) sowie die Dämmung von Wänden, Böden, Decken und Dächern. Auch als Frostschuttschicht im Verkehrswegebau (Gleisbau und Straßenbau) hat sich XPS seit vielen Jahren bewährt.

Außerdem dient XPS als Trägermaterial zur Herstellung von Verbundelementen mit Holz, Metall, Kunststoff und mineralischen Beschichtungen.

1.4 Inhaltsstoffe

XPS besteht zu 88 bis 93 Gew.-% aus Polystyrol. Polystyrol ist ein thermoplastischer Kunststoff, der nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff besteht (siehe Bild 1).

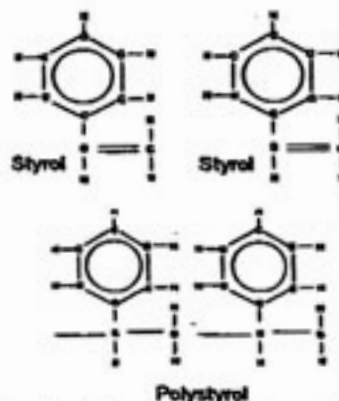


Bild 1: Strukturformel zweier Styrolmoleküle (oben) und von Polystyrol (unten).

Im Bereich von ca. 0,5 bis 5 Gew.-% enthält XPS Zusätze wie Talkum, farbgebende Stoffe, Flammenschutzmittel und Hilfsstoffe in geringer Menge, deren Einzelkonzentrationen 0,05 Gew.-% nicht überschreiten.

Bei der Herstellung werden bis zu 12 Gew. % Treibgase eingesetzt. Zur Anwendung kommen:

- HFCKW 142b (Chlordifluorethan)
- HFCKW 22 (Chlordifluormethan)
- Kohlendioxid (CO₂)
- Ethanol (H₃C-CH₂-OH) (in Spuren).

HFCKW ist eine Abkürzung für teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe. Sie enthalten

Kohlenstoff, Wasserstoff (Hydrogenium), Fluor und Chlor. Seit 1994 ist mit Kohlendioxid geschäumtes XPS bauaufsichtlich zugelassen. Damit wurden die Weichen für eine völlig umweltfreundliche Generation von XPS gestellt, bei deren Herstellung auf HFCKW verzichtet werden kann. Damit wird nun auch noch das verbliebene geringe Ozonabbaupotential vollständig beseitigt.

2. Ökologische Beurteilung von XPS

Bei der ökologischen Beurteilung von XPS sind die Treibgase und gesundheitliche Aspekte der Inhaltsstoffe bei der Herstellung und der Anwendung zu berücksichtigen.

2.1 Treibgase

Da die in XPS enthaltenen Treibgase in die Umwelt entweichen können, werden mögliche Wirkungen die daraus resultieren dargestellt.

- Permeation der Treibgase aus XPS
- Wirkung auf die stratosphärische Ozonschicht
- Wirkung als Treibhausgas
- Beitrag zur Erzeugung von bodennahem Smog
- Toxikologische Eigenschaften.

2.1.1 Permeation

Aufgrund der Partialdruckdifferenz zwischen Zellgas und Luft permeieren die Zellgase durch die Zellwände. Bei einer 100 mm dicken XPS-Platte dauert es beispielsweise nahezu 100 Jahre, bis HFCKW 142 b zur Hälfte durch Luft ersetzt wird. Das Treibmittel HFCKW bleibt für die volle Nutzungsdauer des Gebäudes im Dämmstoff weitgehend enthalten.

2.1.2 Beeinflussung stratosphärischen Ozons

Die Kennzahl, die den Beitrag zum Abbau des stratosphärischen Ozons beschreibt, wird als Ozone Depletion Potential (ODP) bezeichnet. In Tabelle 1 sind auf FCKW 12 bezogene ODP-Werte von verschiedenen Treibgasen, sowie deren geschätzte Verweilzeiten in der Atmosphäre, angegeben. Durch die Verwendung von CO₂ als Treibmittel, enthält XPS der neuesten Generation keine Stoffe, die zum Ozonabbau beitragen.

Tabelle 1: Ozonabbaupotentiale und Verweilzeiten der Treibgase in der Atmosphäre.

Treibgas	Ozonabbaupotential [-]	Verweilzeiten in der Atmosphäre [Jahre]
FCKW 12	1,0	120
HFCKW 142 b	0,065	19,1
HFCKW 22	0,055	15,3
Ethanol	0	0
CO ₂	0	120

2.1.3 Treibhauseffekt

Die Kennzahl die den Beitrag eines Gases, zum globalen Treibhauseffekt beschreibt, wird als Global Warming Potential (GWP) bezeichnet. Im Vergleich zu FCKW 12 liegen die GWP-Werte von HFCKW 142 b und von HFCKW 22 um ca. 80 % niedriger. Mit dem Einsatz von CO₂ ist auch das zusätzliche Treibhauspotential beseitigt, weil das eingesetzte CO₂ aus der Umgebung entnommen wird, oder als Reststoff anderer Produktionsprozesse anfällt.

2.1.4 Smogbildungspotential

Ein weiterer Aspekt der ökologischen Beurteilung eines Gases ist dessen Beitrag zur Bildung von Photosmog. Unter Photosmog versteht man die Anwesenheit von Photooxidantien in der bodennahen Atmosphäre (Troposphäre). Photooxidantien entstehen aus flüchtigen, von Menschen emittierten organischen Verbindungen (Volatile Organic Compounds = VOC) in Gegenwart von Sonnenlicht und Stickoxiden (NO_x). Das bekannteste Photooxidans ist Ozon. Die Einordnung der VOC entsprechend ihrem Beitrag zur Photosmogbildung ist wissenschaftlich noch nicht abgeschlossen. HFCKW und Ethanol tragen nur wenig, CO₂ als organische Verbindung trägt gar nicht zur Bildung von Photosmog bei.

2.2 Gesundheitliche Aspekte

Für HFCKW 142b und 22 konnten keine negativen Erkenntnisse über eine spezifische akute Toxizität und über langzeittoxische Effekte gefunden werden. Auf kanzerogene Wirkungen der genannten HFCKW gibt es keine Hinweise. Ethanol ist in alkoholischen Getränken enthalten. CO₂ entsteht als Nebenprodukt bei der Verbrennung aller organischer Stoffe und wird von Lebewesen bei der Atmung abgegeben. Tabelle 2 enthält als toxikologische Kenndaten der Treibgase MAK-Werte sowie LC₅₀ oder LD₅₀-Werte.

Tabelle 2: Toxikologische Kenndaten von verschiedenen Treibmitteln.

Treibgas	MAK VdL/ppm	LC ₅₀ (Inhalation) oder LD ₅₀ (Oral)	Kanzerogene Wirkung
HFCKW 142 b	1000	40 Vol.-%, inhaliert, Ratte (6 Stunden bei O ₂ -Zugabe)	nicht bekannt
HFCKW 22	500	35 bis 50 Vol.-%, inhaliert, Ratte (15 Min bei O ₂ -Zugabe)	nicht bekannt
Ethanol	1000	14000 mg/kg Körpergewicht oral, Ratte	nur bei oraler Aufnahme

¹ MAK-Wert: Maximale Arbeitsplatzkonzentration eines gesunden, arbeitsfähigen Menschen bei 8 Arbeitsstunden pro Tag.

LD₅₀-Wert: Letale Dosis, bei welcher 50 % der Versuchstiere bei oraler oder intravenöser Aufnahme starben.

LC₅₀-Wert: Letale Dosis, bei welcher 50 % der Versuchstiere bei Inhalation starben.

XPS enthält Zusatzstoffe, die zur Herstellung und Variation wichtiger Eigenschaften benötigt werden. Lediglich drei dieser Stoffe sind in XPS in Einzelkonzentrationen über 0,1 Gew.-% enthalten:

- Talkum:

Talkum ist eine in Wasser unlösliche in großen Lagerstätten natürlich vorkommende mineralische Substanz (Magnesiumsilikat). Von Talkum geht keinerlei Umweltgefahr aus.

- Hexabromcyclododecan:

Hexabromcyclododecan (HBCD), ein organisches Flammschutzmittel ist ein schwerflüchtiger Stoff, der in Wasser sehr schwer löslich ist. Die akute Toxizität von HBCD ist äußerst niedrig (LD_{50} , Ratte > 10000 mg/kg). Kanzerogene Wirkungen von HBCD sind nicht bekannt.

- Dicumyl:

Dicumyl ist ein halogenfreier aromatischer Kohlenwasserstoff, der die Wirkung von HBCD als Flammschutzmittel erhöht. Die akute Toxizität ist sehr niedrig (LD_{50} , Ratte > 5000 mg/kg), kanzerogene Wirkungen sind nicht bekannt.

Die Einzelkonzentrationen der weiteren Hilfsstoffe bewegen sich im Spurenbereich von 0,001 bis 0,05 Gew.-%, ihre Summe beträgt maximal 0,2 Gew.-%. Es handelt sich generell um schwerflüchtige Verbindungen, die fest in der Polystyrolmatrix gebunden sind.

Aus diesem Grund geht von den Treibmitteln und Hilfsstoffen keine Gefahr für die Umwelt aus.

2.3 Brandverhalten

Beim Brand von XPS ist dessen thermischer Abbau und die Brandgase, Brandrückstände und Löschwasser auf eine eventuelle Toxizität zu untersuchen und ökologisch zu bewerten.

2.3.1 Thermischer Abbau

Als Hauptprodukte der thermischen Zersetzung von XPS entstehen Wasser und Kohlendioxid (CO_2). In geringeren Mengen bilden sich in Abhängigkeit von Temperatur und Luftzutritt Kohlenmonoxid (CO), Spalt- und Depolymerisationsprodukte. Aus dem Flammschutzmittel entsteht Bromwasserstoff. Die Treibmittel entweichen je nach Brandsituation in die Atmosphäre. Halogenhaltige Treibmittel können zu Halogenwasserstoffen zersetzt werden.

2.3.2 Brandgase, Brandrückstände und Löschwasser

Praxisnah wurde durch Verbrennungsversuche die mögliche Toxizität der Brandgase, der Brandrückstände und des Löschwassers ermittelt. Die Ergebnisse der Untersuchungen waren folgende:

- Das Löschwasser von brennendem XPS kann ohne Vorreinigung in eine biologische Kläranlage eingeleitet werden.
- Die Brandrückstände enthalten keine mit Wasser eluierbaren Bestandteile, die eine Deponierung ausschließen würden.
- Alle Versuchstiere, die den XPS-Brandgasen ausgesetzt waren, überlebten und waren langfristig symptomfrei und frei von Dauerschäden. Dagegen wiesen die Tiere, die den Kiefernholzbrandgasen ausgesetzt waren, eine erhebliche Sterblichkeit während und nach dem Versuch auf.

Voll- und teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW und HFCKW) zeichnen sich durch thermische Stabilität aus. Eine Spaltung von über 99,99% ist bei höheren Temperaturen (>950°C) durch geeignete Techniken möglich. Bei der thermischen Spaltung entstehen Flußsäure und Salzsäure, die als Wertstoffe aus dem Rauchgas gewonnen werden können.

Verbrennungsversuche von FCKW-haltigen Schaumstoffen in Müllheizkraftwerken ergaben eine praktisch vollständige Verbrennung (99,99 %, d.h. keine größere Belastung als bei der Verbrennung von Hausmüll. Bis zu einigen Gewichts-% können die Schaumstoffe normalem Hausmüll beigegeben und in Müllverbrennungsanlagen verbrannt werden. Kunststoffe können aufgrund ihres hohen Energiegehaltes nur bis zu einigen Gewichts-% dem Hausmüll zur Verbrennung beigegeben werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der Brand von XPS nach den vorliegenden Erkenntnissen keine größeren Umweltbelastungen erzeugt, als dies beim Brand von natürlichen Materialien, wie z.B. Holz, der Fall ist.

2.4 Ökobilanzdaten

Für die Produktion von 1 kg XPS wird je nach Treibmittel inclusive der eingesetzten Rohstoffe ein Energieäquivalentwert von 100 bis 110 MJ benötigt. 1 kg XPS hat den gleichen Energieäquivalentwert wie 1 kg Heizöl, das heißt, nachdem der Dämmstoff in der Anwendung den Verbrauch von Brennstoff reduziert, kann er am Ende der Nutzungszeit auch selbst noch als Brennstoff dienen.

Bereits innerhalb einer Heizperiode kann die eingesetzte Energie durch Reduktion des Heizwärmeverbrauchs eingespart werden.

2.5 Energieeinsparung durch Wärmeschutz

Am Beispiel eines repräsentativen Musterhauses wird das Energieeinsparpotential durch Dämmung mit XPS dargestellt. Das Musterhaus hat ein Oberflächen-Volumenverhältnis

(A/V) von ca. 1. Die gesamte zu dämmende Hüllfläche des Hauses beträgt ca. 420 m².

In Tabelle 3 sind die Dämmschichtdicken, die Jahresenergieverbräuche und die jährlichen CO₂-Emissionen für die verschiedenen Ausführungsvarianten zusammengestellt. Der Energieäquivalentwert des eingesetzten XPS wird, je nach Dämmvariante, in 0,5 bis 1,5 Jahren durch den reduzierten Jahresheizwärmebedarf kompensiert. In weniger als einem halben Jahr ist der CO₂ Ausstoß bei der Herstellung von XPS durch CO₂-Emissions-Reduktion eingespart.

Gegenüber dem derzeitigen Wärmeschutzniveau wird mit der III. Wärmeschutzverordnung, die am 1. Januar 1995 in Kraft tritt, bei dem betrachteten Gebäude, der Jahresheizwärmebedarf beinahe halbiert.

Die Betrachtung zeigt, daß erhöhter Wärmeschutz mit XPS wie mit anderen Schaumkunststoffen ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist.

2.6 Entsorgung von XPS

XPS wird überwiegend im Bauwesen eingesetzt. Bei Gebäuden ist von einer Lebensdauer oder Nutzungsdauer von 25 bis 100 Jahren auszugehen. Bei einer mittleren Einsatzdauer von ca. 50 Jahren fallen bisher überwiegend Verarbeitungsabfälle an. Sofern XPS nicht mit anderen Baustoffen verbunden ist, kann es nach Umbau- oder Ausbaumaßnahmen als Dämmstoff wieder verwertet werden.

Ist die Wiederverwertung nicht möglich, kommen folgende Entsorgungsmöglichkeiten in Frage:

- Verbrennung
- Monomerrückgewinnung
- Rezyklieren
- Deponierung.

Gebrauchte Dämmstoffe aus XPS sind gemäß der Abfall- und Reststoffüberwachungsverordnung (AbfRestÜberwV) kein besonders überwachungsbedürftiger Abfall (kein Sondermüll).

Zusammenfassung

Die ökologische Betrachtung zeigt, daß die Emissionen bei der Herstellung von XPS kein nennenswertes gesundheitliches Gefährdungspotential haben.

Von den eingesetzten Stoffen und Treibmitteln geht keine Gefahr für die Umwelt aus. Im Brandfalle geht von XPS nach bisherigen Erkenntnissen keine größere Umweltbelastung aus, als z.B. beim Brand von Holz.

Die Erkenntnis des Ozonabbaupotentials und der Treibhauseffekte der früher als Treibmittel eingesetzten Fluorchlorkohlenwasserstoffe führte zu alternativen Produktionsverfahren. Schon die Umstellung auf HFCKW als Treibmittel führte zu einer 95%-igen Reduktion des Ozonabbaupotentials. Die neue XPS-Generation, die nun mit Kohlendioxid geschäumt wird, leistet einen wesentlichen Beitrag zur weiteren Reduktion der Umweltbelastung.

Tabelle 3: Vergleich der Energieeinsparmöglichkeiten bei verschiedenen Dämmausführungen vom Wärmeschutzniveau 1960 bis zum Niedrigenergiehaus. Angegeben sind die Dämmschichtdicken, die Verglasungsart, der mittlere Gebäude-k-Wert und neben dem wohnflächenbezogenen Jahresheizwärmebedarf auch der jährliche Heizölbedarf und die aus der Heizölverbrennung resultierenden jährlichen CO₂-Emissionen.

Ausführungsvarianten und Rechenergebnis	Wärmeschutzvariante			
	Niveau 1960	WSVO 1982	WSVO 1995	Niedrigenergie-Haus
Dämmschichtdicke Dach in mm	0	60	120	200
Dämmschichtdicke Außenwand in mm	0	30	60	150
Dämmschichtdicke Kellerdecke in mm	0	30	80	150
Verglasungsart	Einfach	Isolier	Wärmeschutz	Wärmeschutz
mittlerer Gebäude k-Wert in W/ (m ² K)	1,41	0,62	0,38	0,25
wohnflächenbezogener Jahresheizwärmebedarf in kWh/m ²	330	150	95	65
Jahresheizwärmebedarf in %	220	100	63	43
jährlicher Heizölbedarf in Liter	4650	2100	1340	900
jährliche CO ₂ -Emission in Tonnen	16,7	7,5	4,8	3,2