

# **SOLKANE-365mfc-geschäumte PUR-Wärmedämmungen:**

## **Ökobilanzierung und Marktpositionierung**

*Hermann Krähling, Solvay Management Support GmbH*

*Ivo Mersiowsky, Solvay Management Support GmbH*

*Lothar Zipfel, Solvay Fluor und Derivate GmbH*

*Hans-Böckler-Allee 20, D-30173 Hannover*

### **Zusammenfassung**

SOLKANE 365mfc ist ein neues hochwirksames Treib- und Isoliergas zur Herstellung von Hochleistungsprodukten für die Wärmedämmung von Gebäuden und Behältern. Wie alle teilfluorierten Kohlenwasserstoffe (HFKW) hat SOLKANE 365mfc keine ozonabbauenden Eigenschaften und kann deshalb die gemäß Montreal-Protokoll künftig verbotenen HFCKW wie 141b ersetzen (1).

Ökobilanzielle Untersuchungen zeigen jetzt darüber hinaus, dass 365mfc-geschäumte Dämmstoffe aus Polyurethan-Hartschaum (PUR) über den gesamten Produktlebensweg betrachtet mehr zum Klimaschutz beitragen können als entsprechende mit Wasser/CO<sub>2</sub> bzw. Pentan geschäumte Varianten. Die erzielten Entlastungen durch Reduktion von Treibhausgasemissionen aus der Energieerzeugung übersteigen den Treibhauseffekt von HFKW-Emissionen.

In Anwendungsfeldern, die typischerweise Hochleistungsdämmungen erfordern, erbringen 365mfc-geschäumte PUR-Dämmprodukte besonders deutliche Umweltvorteile. Dies zeigen Untersuchungen für verschiedene Klimazonen in Deutschland, Spanien und Portugal sowie die Betrachtung von Einsatzfeldern, bei denen die realisierbaren Schichtdicken oder Flächengewichte der Dämmung begrenzt sind.

### **Einleitung und Zielsetzung**

Wärmedämmungen ermöglichen ausgeglichene Temperaturen in Gebäuden und tragen somit zu Gesundheit und Lebensqualität der Bewohner bei. Zudem werden die Energiekosten für Heizen und Kühlen minimiert. Hochleistungsdämmsysteme zeichnen sich durch eine besonders geringe Wärmeleitfähigkeit, also hohe Dämmwirkung aus. Im Interesse einer nachhaltigen Entwicklung gilt es indessen, die Vorteile und Nachteile gesamter Produktsysteme in die Betrachtung einzubeziehen:

- ◆ Ein hoher Nutzwert sollte zu günstigen Preisen erzielt werden.
- ◆ Die Dämmstoffe müssen sicher in der Herstellung und Anwendung sein.
- ◆ Das Umweltverhalten der Produkte entlang ihres Lebensweges sollte akzeptabel sein.

Folglich stellt die Produktentwicklung eine Optimierungsaufgabe dar, wobei der umweltbezogenen Beurteilung der Produktsysteme ein bedeutender Stellenwert zukommt. Vor diesem Hintergrund haben bereits vor der Markteinführung von SOLKANE 365mfc die nachstehend genannten Partner

entlang der Produktkette ihre gemeinsame Verantwortung wahrgenommen und im Rahmen zweier Ökobilanzstudien 365mfc-geschäumte PUR-Wärmedämmungen zur Anwendung in Wohn- und Industriebauten untersucht (2, 3): *Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado (ATEPA)*, *Elastogran (BASF Gruppe)*, *Kingspan*, *Solvay Fluor und Derivate GmbH*, *Synthesia Gruppe* sowie *Advanced Chemicals*.

Ziel der Untersuchungen war es, die Produktentwicklung und Marktpositionierung des neuen Treibmittels SOLKANE 365mfc im Hinblick auf die folgenden Aspekte zu unterstützen:

- ◆ Der teilhalogenierte Kohlenwasserstoff (HFCKW) 141b, das frühere Referenztreibmittel für Hochleistungsdämmungen, muss wegen seines Beitrags zur Zerstörung der Ozonschicht vom Markt genommen werden (1).
- ◆ Das neu entwickelte teilfluorierte Treibmittel HFKW-365mfc (Pentafluorbutan) besitzt demgegenüber kein ozonschichtzerstörendes Potenzial. Es trägt jedoch zum Treibhauseffekt bei, wenn es in die Atmosphäre gelangt.
- ◆ Die politische und öffentliche Akzeptanz von teilfluorierten Kohlenwasserstoffen setzt deshalb voraus, dass umfassende und verlässliche Umweltdaten vorgelegt werden.

Die durchgeführten Ökobilanzen (LCA) wurden in Übereinstimmung mit der internationalen Norm ISO 14040 erstellt und durch einen unabhängigen und akkreditierten Gutachter begleitet und bewertet.

### Untersuchungsrahmen und Einflussgrößen

In den hier vorgestellten Ökobilanzstudien wurden die Umweltprofile von PUR-Wärmedämmsystemen für Außenwände und Dächer im Wohn- und Industriebau untersucht. In diesen Anwendungsfeldern kommen sowohl Hartschaumplatten als auch Ortschäume zum Einsatz. Es ist in dieser frühen Phase der Anwendungsentwicklung noch offen, ob schließlich SOLKANE 365mfc allein oder in Mischungen mit anderen HFKW (etwa 227ea oder 245fa) verwendet wird. Entsprechende Szenarien können im Nachgang auf der Basis der hier exemplarisch für 365mfc-geschäumte PUR-Dämmstoffe berechnet werden. Der Bilanzrahmen der Studien umfasst den gesamten Lebenszyklus der Wärmedämmsysteme. Die untersuchten Szenarien spiegeln typische Konstruktionsweisen wider:

- ◆ ein als Warmdach ausgeführtes Flachdach für ein Industriegebäude in Deutschland (PUR-Ortschaum),
- ◆ ein als Warmdach ausgeführtes Satteldach für ein Wohngebäude in Deutschland (PUR-Dämmplatten) bzw. Spanien/Portugal (PUR-Ortschaum) sowie
- ◆ eine zweischalige Außenwand für ein Wohngebäude in Deutschland (PUR-Dämmplatten) bzw. Spanien/Portugal (PUR-Ortschaum).

Als Vergleichsprodukte wurden PU-Hartschäume herangezogen, die mit anderen Treibmitteln hergestellt werden: einerseits HFCKW-141b als heutiger Standard und andererseits Wasser/CO<sub>2</sub> bzw. n-Pentan als Alternativen mit ebenfalls ausgewiesenen guten Isoliereigenschaften.

Im Interesse der Verlässlichkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse wurden die Randbedingungen über weite Bereiche variiert. Die Tab. 1 zeigt die wesentlichen Einflussgrößen sowie die gewählten Szenario- und Sensitivitätsanalysen. Aufgrund von Klimadaten wurde der Energiebedarf in der Nutzungsphase der Gebäude ermittelt. In Anbetracht der Bedeutung von PU-Hartschäumen als Dämmmaterial auch in südeuropäischen Märkten wurden dabei Spanien und Portugal anhand der Heiz- und Kühlgradtage ausgewählter Städte in einer gesonderten Studie (3) betrachtet. Neben gemäßigten Temperaturen und geringen saisonalen Schwankungen umfasst die Bandbreite der Klimabedingungen somit auch hohe Anforderungen an die Raumheizung bzw. -kühlung.

**Tab. 1. Parameter und Variationsbereiche zur Berechnung der Sachbilanzen**

Parameter	Einheit	Standard	Variationsbereich
Dichte PUR	kg/m <sup>3</sup>	Ortschaum: 60 Dämmplatten: 32	—
Schichtdicke PUR	mm	Ortschaum Dach (D): 40 Dämmplatte Dach (D): 100 Dämmplatte Wand (D): 50 Ortschaum Dach/Wand (ES): 30	20–70 50–160 17–60 10–50
Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	mW/(m·K)	Ortschaum 141b (D): 29 Dämmplatte 141b (D): 21 Ortschaum H <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub> (D/ES): 35 Dämmplatte Pentan (D): 24 Ortschaum 365mfc (D): 30 Dämmplatte 365mfc (D): 22 Ortschaum 141b (ES): 26 Ortschaum 365mfc (ES): 28	28–30 21–22 — 24–26 29–30 21–23 25–27 28–29
Nutzungsdauer	a	Wohngebäude: 50 Industriegebäude: 25	10–80 10–35
Treibmittelverlust bei Herstellung	%	Ortschaum: 15 Dämmplatte: 5	— —
Diffusionsrate Treibmittel	% p. a.	Ortschaum: 5 (erstes Jahr) + 1,2 (Folgejahre) Dämmplatte: 0,2	0–2 0–0,5
		HGT	KGT
Heiz- und Kühlgradtage HGT/KGT	K·d/a	Wohngebäude (D): 3500 Industriegebäude (D): 2917 Almeria (ES): 673 Barcelona (ES): 1403 Toledo (ES): 1660 Madrid (ES): 1979 Avila (ES): 2868 Lissabon (PT): 870	— — 873 448 778 541 99 527

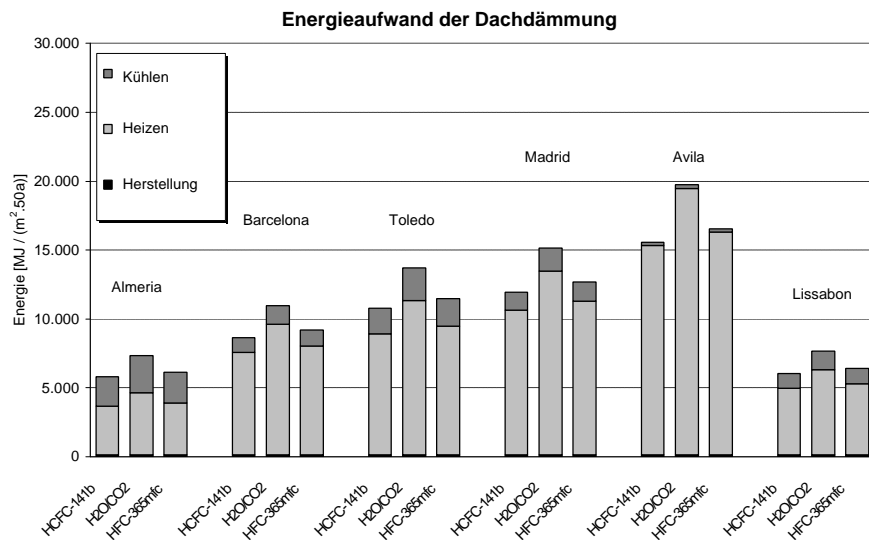
Abkürzungen: D – Deutschland, ES – Spanien, PT – Portugal

## Ergebnisse der Ökobilanzen

Es zeigte sich, dass bei der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus der Energiebedarf und die untersuchten Umwelteinwirkungen überwiegend auf die Kompensation von Wärmeverlusten im Verlauf der Nutzungsphase zurückzuführen sind. Demgegenüber spielt die Herstellung der PUR-Dämmstoffe eine verschwindend geringe Rolle. Die Verwertung oder Beseitigung von PU-Hartschäumen wurde unter Hinweis auf die bestehenden Unsicherheiten über zukünftige Regelungen und zulässige Entsorgungswege nicht ausführlich betrachtet. Der Einfluss der Entsorgung auf die Umweltprofile ist indessen von vernachlässigbarer Bedeutung, wenn man von den in Europa bereits in naher Zukunft verbindlichen Entsorgungsoptionen (insbesondere thermische Behandlung) ausgeht. Die im folgenden erläuterten Umweltprofile werden jeweils mit Bezug auf einen Quadratmeter gedämmter Fläche sowie über die gesamte Lebensdauer angegeben.

### Gesamter Energiebedarf

Die Abb. 1 zeigt den über die gesamte Lebensdauer kumulierten Energiebedarf der Wärmedämmung für das Satteldach eines Wohnhauses in Spanien bzw. Portugal am Beispiel sechs ausgewählter Städte (vgl. Tab. 1). Es wurden dabei die Energiemixe dieser Länder für die Bereitstellung von Elektrizität und Raumwärme verwendet. Die verglichenen PUR-Dämmsysteme unterscheiden sich allein im Treibmittel: die erste Säule steht für ein mit dem Referenzprodukt 141b geschäumten PUR-Dämmstoff, die zweite Säule entsprechend für die Nicht-HFKW-Alternative Wasser/CO<sub>2</sub>, und die dritte Säule stellt den mit dem neuen Treibmittel 365mfc geschäumten PUR-Dämmstoff dar.



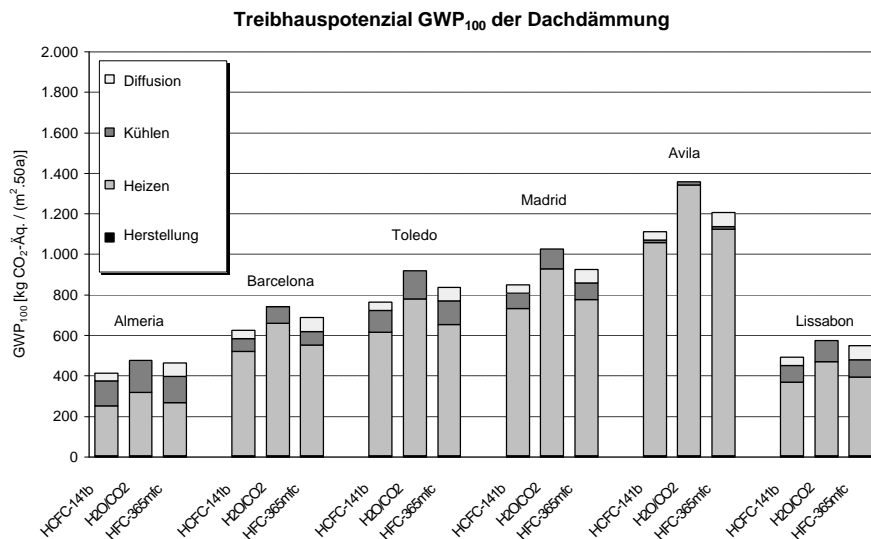
**Abb. 1. Energiebedarf der Dachdämmung über die gesamte Lebensdauer. Varianten von links nach rechts: PUR-Schäume mit 141b, H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> und 365mfc.**

Ausschlaggebend mit 60 % und mehr ist die Raumheizung in der Nutzungsphase. In wärmeren Regionen spielt auch der Energiebedarf für die Kühlung der Gebäude mit bis zu 40 % eine Rolle. Demgegenüber ist der Energieaufwand für die Herstellung der PU-Hartschäume vernachlässigbar. Die Beiträge zu saurem Regen, Überdüngung und Sommersmogbildung sind ebenfalls auf die Bereitstellung an thermischer Energie in der Nutzungsphase zurückzuführen und liefern demzufolge ähnliche Ergebnisse. In sämtlichen betrachteten Regionen – Deutschland, Spanien und Portugal – weisen die mit 365mfc geschäumten PUR-Dämmstoffe ökologische Vorteile von etwa 15 % gegenüber dem Wasser/CO<sub>2</sub>-System auf. Sie erreichen nahezu das überlegene Umweltprofil des heutigen Standards 141b. Die Vorteile gegenüber den mit Wasser/CO<sub>2</sub> geschäumten Dämmprodukten treten insbesondere in den kühleren Regionen deutlich zutage. Im Falle der PUR-Dämmplatten beträgt der Vorteil des 365mfc-Systems im Energieaufwand rund 10 % gegenüber dem Pentan-System. Die Ökobilanz der Außenwanddämmung ergibt vergleichbare Resultate.

### ***Treibhauspotenzial***

Zur Berechnung des Treibhauspotenzials in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (Global Warming Potential, GWP) wird wie heute international üblich ein Wirkungshorizont von 100 Jahren angesetzt. Wiederum ist der Beitrag der Herstellung der Dämmprodukte äußerst gering (< 1 %). Neben dem dominanten Einfluss der Energieerzeugung zum Heizen und Kühlen spielt erwartungsgemäß der Verlust an Treibmitteln im Zuge der Schaumherstellung und während der Lebensdauer der Dämmstoffe eine Rolle.

Die Abb. 2 zeigt das GWP der oben erläuterten Dachdämmung an sechs unterschiedlichen Standorten in Spanien und Portugal. Die Berechnungen ergeben, dass die Verluste des Treibmittels 365mfc ebenso wie bei 141b lediglich bis zu 10 % des gesamten GWP ausmacht. Alles in allem erweisen sich die mit 365mfc geschäumten PUR-Dämmstoffe als den Nicht-HFKW-Alternativen überlegen (GWP-Vorteile bis zu 10 %) oder zumindest – in Regionen mit geringen Anforderungen an die Wärmedämmung von Gebäuden – als ökologisch wettbewerbsfähig. Im Falle der Wohn- bzw. Industriegebäude in Deutschland führt der mit 365mfc geschäumte PUR-Dämmstoff im Vergleich zum Wasser/CO<sub>2</sub>- bzw. Pentan-System zu einem ähnlichen oder sogar um bis zu 5 % verminderten GWP.

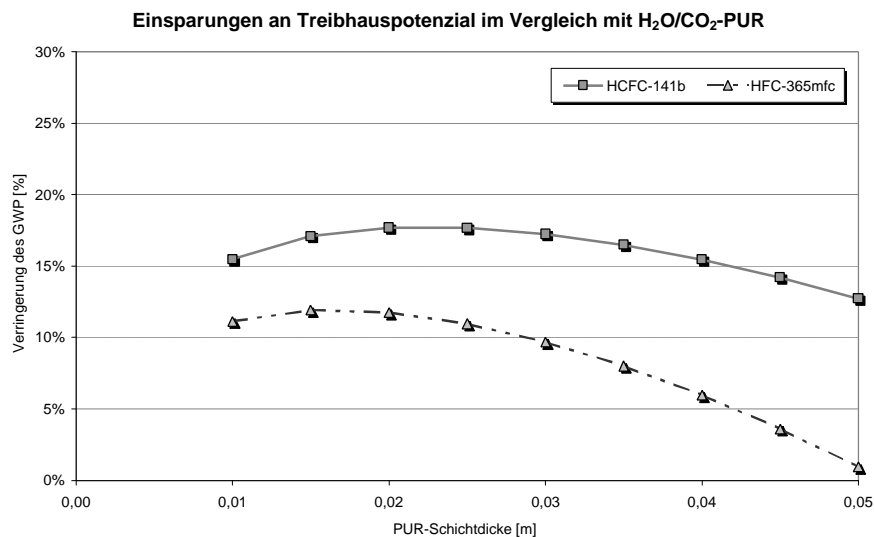


**Abb. 2. Treibhauspotenzial der Dachdämmung über die gesamte Lebensdauer. Varianten von links nach rechts: PUR-Schäume mit 141b, H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> und 365mfc.**

### Absicherung durch Sensitivitäts- und Szenarioanalysen

Die umweltbezogenen Vorteile des 365mfc-geschäumten PU-Hartschaums werden grundsätzlich mit zunehmender Nutzungsdauer und bei höheren Anforderungen an die Gebäudeheizung oder -kühlung – wie in Zentralspanien – deutlicher. Der Standort Madrid stellt einen bedeutenden Markt dar und kann zudem recht gut als klimatischer Durchschnitt der iberischen Halbinsel gelten. Als besonders bedeutende Einflussgrößen werden deshalb exemplarisch die Variation der Schichtdicke der PU-Hartschäume und der Diffusionsrate der Treibmittel am Fallbeispiel eines Wohngebäudes mit Warmdach in Madrid dargestellt.

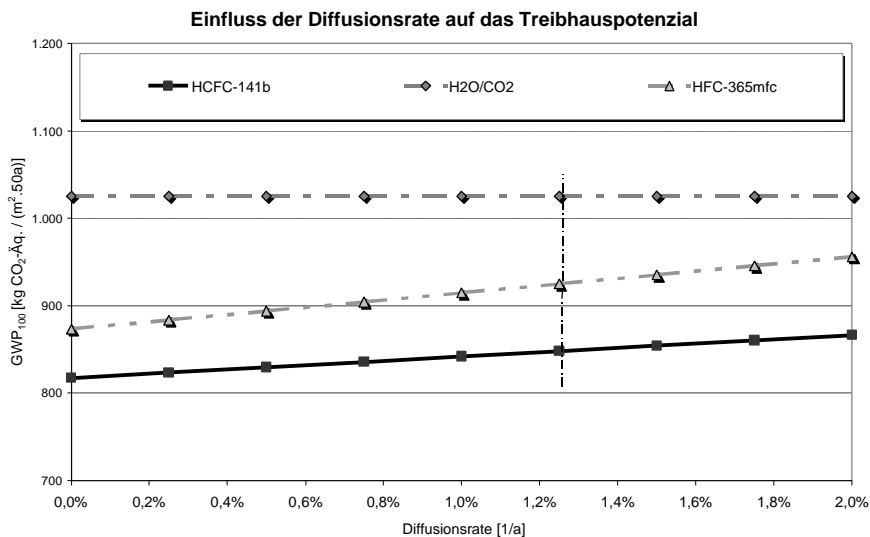
Durch die Begrenzung der Dicke von Wärmedämmschichten kann räumlichen oder statischen Restriktionen Rechnung getragen werden, etwa in Fällen der Sanierung von zweischaligem Mauerwerk oder bei Dächern mit begrenzten Bemessungslasten. Eine Vergrößerung der Schichtdicke der PUR-Dämmstoffe wirkt sich vorwiegend auf den Beitrag zum Treibhauspotenzial aus: hier stellen die reduzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen infolge des geringeren Heizenergiebedarfs und die vermehrten Treibmittelemissionen gegenläufige Effekte dar. Am Standort Madrid weisen PUR-Dämmstoffe mit 365mfc im Verhältnis zum Wasser/CO<sub>2</sub>-System über den gesamten Bereich der Schichtdicken von 10 bis 50 mm durchweg günstigere Umweltprofile auf (Abb. 3). Die größten Vorteile in Höhe von etwa 10 % eingesparten Treibhausgasemissionen erzielt 365mfc im Bereich 10–30 mm. Bei durchschnittlichen deutschen Klimabedingungen ist die mit 365mfc geschäumte Variante unterhalb einer Schichtdicke von etwa 50 mm (PUR-Ortschaum) bzw. 90 mm (PUR-Dämmplatten) der Wasser/CO<sub>2</sub>- bzw. der Pentan-Alternative überlegen.



**Abb. 3. Treibhauspotenzial der Dachdämmung bei variierenden Schichtdicken (Standort: Madrid). PUR-Schäume mit 141b und 365mfc in Relation zur Variante mit H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub>.**

Die Diffusion teilhalogener Treibmittel aus den PUR-Dämmprodukten im Verlauf der Nutzungsdauer hat wie oben gezeigt einen Einfluss auf das resultierende Treibhauspotenzial. Für den Standort Madrid wurde die jährliche Diffusionsrate des 365mfc bis zu 2 % variiert, entsprechend dem theoretischen Fall eines vollständigen Verlustes des Treibmittels. Das Umweltprofil des 365mfc-getriebenen PUR-Ortschaums erweist sich gegenüber dem Wasser/CO<sub>2</sub>-System im gesamten betrachteten Bereich als überlegen (Abb. 4).

Bei durchschnittlichen deutschen Klimabedingungen wäre ein Gleichstand des 365mfc-Systems bezüglich Treibhauseffekt im Vergleich mit pentangeschäumten PUR-Dämmplatten bei Verlustraten von 0,2 % (Dach) bzw. 1 % pro Jahr (Wand) sowie im Vergleich mit wasser/CO<sub>2</sub>-getriebenem PUR-Ortschaum bei 2,5 % pro Jahr erreicht. Die Ausführung von PUR-Dämmplatten mit einer Deckfolie z. B. aus Aluminium als Diffusionssperre hat demnach einen ökologisch positiven Effekt.



**Abb. 4. Treibhauspotenzial der Dachdämmung bei variierenden Treibmittelverlusten (Standort: Madrid). PUR-Schäume mit 141b und 365mfc im Vergleich zur Variante mit H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub>.**

Die übrigen Pluspunkte im Umweltprofil des Treibmittels 365mfc bleiben von diesen Variationen unberührt. Unabhängig vom gewählten Treibmittel verringert der Einsatz einer Gas- anstelle einer Ölheizung die Umwelteinwirkungen erheblich, wobei die mit 365mfc geschäumten PUR-Dämmstoffe ihre Vorteilhaftigkeit bzw. Wettbewerbsfähigkeit keineswegs einbüßen. Im Vergleich mit einem überhaupt nicht gedämmten Bauteil machen sich unabhängig vom Heizungssystem die mit PU-Hartschäumen gedämmten Dächer bzw. Wände bereits im Verlauf der ersten Heizperiode durch den geringeren Raumwärmebedarf bezahlt.

### Schlussfolgerungen

Im Rahmen zweier Ökobilanzstudien wurden Umweltprofile der mit 365mfc hergestellten PU-Hartschäume berechnet und den mit Wasser/CO<sub>2</sub> bzw. Pentan geschäumten Varianten gegenübergestellt. Die Klimabedingungen erwiesen sich dabei als entscheidend für die umweltbezogenen Vorteile, die sich mit Hochleistungsdämmprodukten erzielen lassen. Die folgenden Schlussfolgerungen können gezogen werden:

- ◆ Sowohl in Deutschland als in Spanien und Portugal stellen sich die mit SOLKANE 365mfc getriebenen PU-Hartschäume im Vergleich mit den Alternativen als ökologisch vorteilhaft oder zumindest wettbewerbsfähig dar. Diese Einschätzung wird durch umfassende Szenario- und Sensitivitätsanalysen bestätigt. Die Umweltvorteile treten besonders deutlich zutage, wenn die realisierbare Dicke der Wärmedämmung durch räumliche oder statische Restriktionen begrenzt ist.
- ◆ Beispielsweise betragen die Energieeinsparungen am Standort Madrid rund 15 %. Dies entspricht einer kostenlosen Heizperiode in jedem siebten Jahr. Der Beitrag zum Treibhauseffekt wird durch



SOLKANE 365mfc im Vergleich zu den mit Wasser/CO<sub>2</sub> oder Pentan geschäumten Varianten um bis zu 5 % (Deutschland) bzw. etwa 10 % (Spanien/Portugal) reduziert. Andere Emissionen, die Umweltwirkungen wie sauren Regen, Überdüngung und Sommersmog verursachen, sowie die Abfallmengen werden in ähnlicher Weise wie der Energiebedarf reduziert.

- ◆ Abgesehen von der Zielsetzung, noch niedrigere Werte der Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) zu erreichen, sollte eine Begrenzung der Treibmittelverluste angestrebt werden, z. B. durch Diffusionssperren auf der Oberfläche des Dämmmaterials sowie durch ein angemessenes Entsorgungskonzept.

Im Hinblick auf die Ziele der Studien konnte gezeigt werden, in welchen geographischen Gebieten die Hochleistungsdämmsysteme aus PU-Hartschaum ein besonders günstiges Umweltprofil bieten. Die mit dem Treib- und Isoliermittel SOLKANE 365mfc hergestellten PU-Hartschäume weisen demzufolge das Potenzial auf, den zukünftigen Standard für umweltgerechte Hochleistungsdämmprodukte mit einem weiten Anwendungsbereich zu setzen.

## Literatur

1. L. Zipfel und P. Dournel, Entwicklungen bei PIR-Schaum im Vorfeld des HFCKW-Ausstiegs, FAPU 10. Ausg., Jan./Feb. 2002, S. 29–34
2. Solvay Management Support GmbH, HFC-365mfc as Blowing and Insulation Agent in Polyurethane Rigid Foams for Thermal Insulation, Ökobilanzstudie, Hannover, 2000
3. Solvay Management Support GmbH, High-performance Thermal Insulation for Buildings in Spain and Portugal, Ökobilanzstudie, Hannover, 2001

Die vollständigen Ökobilanzstudien sind über die Autoren erhältlich.