



## Der Autor

Wolfgang Ernst

Präsident der Europäischen Vereinigung dauerhaft dichtes Dach ddDach e.V.

# »Shattering« Flachdachschäden im Frühjahr 2012

## Aufarbeitung der Schadensursachen

### 1. Einleitung

Im Frühjahr 2012 sind enorme Schäden bei Kunststoff-Flachdachabdichtungen aufgetreten, die dem Ruf des Flachdaches wiederum stark geschadet haben.

Erhebungen des ZVDH (2012) zeigen auf, dass die Schäden nur bei PVC-Kunststoffbahnen, bzw. Kunststoffbahnen mit PVC-Anteil aufgetreten sind. Schäden bei Dächern mit z.B.: FPO/TPO-, EPDM-, ECB-Abdichtungsbahnen, sowie Flüssigabdichtungen und Bitumenabdichtungen konnten nicht festgestellt werden. Bei PVC-Bahnen, bzw. Bahnen mit PVC-Anteilen war die Schadensanfälligkeit von homogenen Bahnen signifikant.

»68,72% aller Schadensfälle waren Bahnen, deren Dicke < 1,5 mm betrug und keine Verstärkung/Einlage besaßen.« (ZVDH, 2012).

Auf der Sachverständigen-Tagung im Oktober 2013 des ZVDH in Mayen kam man zu folgendem Ergebnis: »Alle (bisherigen) Untersuchungen klären nicht mit abschließender Sicherheit die spezifischen Gründe für das Schadensphänomen »Shattering«.

Aufgrund des Schadensbildes ist seit den 80er Jahren »Shattering« (Splitterung) in der Fachwelt ein Begriff für glasbruchartige Kälterissbildung bei Kunststoffbahnen (siehe Abbildung 1).

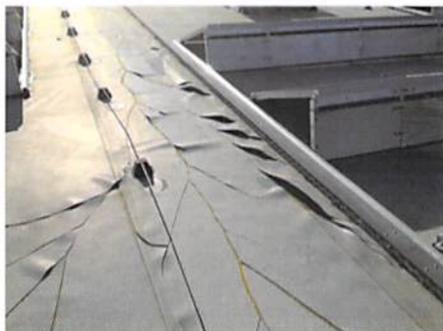


Abb. 1: Kältebruchrisse bei homogener Bahn der Werkstoffgruppe EVA im Frühjahr 2012

### 2. Rückblick in die 80er Jahre

Aus Amerika sind seit Anfang der 80er Jahre Schäden bei lose verlegten, homogenen (unverstärkten) PVC-Dachbahnen bekannt. Zahlreiche Schäden bei den Gebäuden der US Army führten zu einer 10-jährigen Feldstudie durch das US-CERL (US Army – Construction Engineering Research Laboratory), sowie zur Veröffentlichung von Untersuchungen von Wissenschaftlern, Verbänden, Ingenieuren und Instituten zwischen 1985 und 1995. Die Auswertung der Studien führte zu der Vermutung, dass Bahnen mit Einlage weniger schadensanfällig sind. Darüber hinaus beschäftigten sich die Fachberichte u.a. mit dem Weichmacherverlust als Schadensursache.

Die Schadensfälle in den USA sorgten für eine rege Diskussion über die Werkstoffnormung. Es wurde gefordert, dass die ASTM D4434 – Standard Specification for Polyvinylchlorid (PVC) Sheet Roofing strenger auszulegen sind, damit man zwischen Bahnen mit langer und begrenzter Lebensdauer unterscheiden kann.

Anfang der 90er Jahre waren in den neuen ASTM D4434 nur noch Bahnen mit Einlage/Verstärkung aufgeführt, was sich positiv auf die Marktsituation auswirkte. Auch war eine Erhöhung der Bahndicke festzustellen (Paroli, 1993).

### 3. Homogene Bahnen

In der deutschen Werkstoffnormung sind heute immer noch homogene PVC-Bahnen bzw. Bahnen mit PVC-Anteil zu finden (Bahnen nach DIN V 20000-201):

- PVC-P-NB-1,5, weichmacherhaltiges Polyvinylchlorid, homogen, nicht bitumenverträglich, Mindestdicke: 1,5 mm,
- PVC-P-BV-1,2, weichmacherhaltiges Polyvinylchlorid, homogen, bitumenverträglich, Mindestdicke 1,2 mm,
- EVA-BV-1,2, Ethylen-Vinylacetat-Ter-

polymer, homogen, bitumenverträglich, Mindestdicke 1,2 mm

Was Vielen nicht bekannt ist, ist dass bei Bahnen der Werkstoffgruppe EVA nach DIN 18531-2 / 4.3.4.4 folgende Grenzwerte einzuhalten sind:

- Ethylen-Vinyl-Acetat mind. 25 M. %
- PVC max. 50 M. %
- Zusatzstoffe, Stabilisatoren, Pigmente max. 30 M. %

Nach dem Urteil des Landgerichtes Darmstadt, 22 O 599/01 vom 25.02.2002 wurde ein Hersteller dazu verklagt, es zu unterlassen, mit der Behauptung zu werben sein Produkt sei auf Basis EVA hergestellt, ohne gleichzeitig darauf hinzuweisen, dass Hauptbestandteil der Kunststoffbahn PVC ist.

Darüber hinaus ist die Behauptung dieses Herstellers in den Standard-LV-Texten: »Bahn mit außergewöhnlich hohem Anteil an hochpolymeren Feststoffen (ca. 92%), nicht durch Weichmacher elastifiziert, .....« schlichtweg falsch, wie nachfolgende Materialanalysen aufzeigen.

Nach den Unterlagen der Europäischen Vereinigung dauerhaft dichtes Dach - ddDach e.V. sind bei Bahnen auf Basis EVA/PVC im Frühjahr 2012 die meisten Schäden aufgetreten. Aus diesem Grund beziehen sich nachfolgende Ausführungen auch auf die Bahn mit der Bezeichnung:

Produkt - DE/E1 EVA-BV-KPV-1,5

Entnommene Materialproben von geschädigten Dachflächen, sowie vorhandene Rückstellmuster wurden labortechnisch untersucht.

### 4. Untersuchungsverfahren

Im Labor des Unterzeichners wurden folgende Normprüfungen durchgeführt:

- Bestimmung des Zug-Dehnungsverhaltens nach DIN EN 12311-2, Verfahren A, Prüfgeschwindigkeit 100 mm/min,

- **E-Modul** nach DIN EN ISO 527-1 (DIN 16726/5.6.2), Dehnungsbereich 1-2 %,
- **Kältekontraktion**, Prüfung nach Ernst (1999),
- **Widerstand gegen stoßartige Belastung** nach DIN EN 12691, bei verschiedenen Minustemperaturen, Fallgewicht: 500 g, Fallhöhe: 500 mm, (Abbildung 2).

Vom Institut für Mikro- und Nanotechnologie MNT - Bereich Polymerics der Innerstaatlichen Hochschule für Technik Buchs (NTB) wurden folgende Prüfmethode angewendet:

- **Infrarot-Spektroskopie**  
**Allgemein:**  
 Qualitative Strukturanalyse von Polymeren und Charakterisierung organischer und teilweise anorganischer Bestandteile.  
**Spezifisch:**  
 Nachweis von EVA, PVC, Metallhydroxiden, TiO<sub>2</sub> u.a.; Weichmachernachweis (Phthalsäureester) nach Extraktion. Hinweise auf oxidative Schädigung (O-H, C=O)  
**Parameter:**  
 HATR-Modus, Wellenlängenbereich 4000-600 cm<sup>-1</sup>, spektrale Auflösung 4 cm<sup>-1</sup>
- **Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC)**  
**Allgemein:**  
 Liefert Schmelztemperatur T<sub>m</sub> und Schmelzwärme H<sub>m</sub>, Angaben zur Materialzusammensetzung  
**Spezifisch:**  
 Bestimmung von VA-Gehalt in EVA-Copolymer, EVA-Gehalt in PVC-EVA-Gemisch  
**Parameter:**  
 Temperaturprofil 0 °C - 150 °C - 0 °C - 150 °C, Atmosphäre N<sub>2</sub>
- **Rasterelektronenmikroskopie mit energiedispersiver Röntgenanalyse (REM-EDX)**  
**Allgemein:**

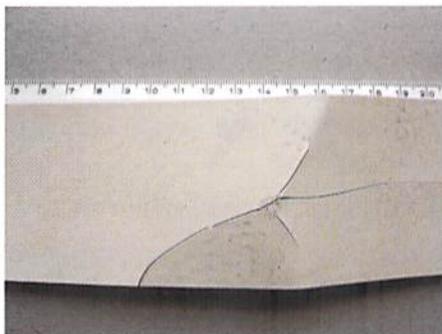


Abb. 2: Splitterbruchriss nach stoßartiger Belastung bei -10 °C, (gealterte Bahn, EVA/PVC, 1,5 mm, nach zwei Jahren Liegezeit).

Liefert hochaufgelöste, elementsensitive Information zur Oberflächenstruktur. Analyse der Elementzusammensetzung der untersuchten Oberfläche, (semi-quantitative Methode)

**Spezifisch:**

Bestimmung von C, O, Cl, Al, Ti Gehalt (und anderen aufgefundenen Elementen)

**Parameter:**

Beschleunigungsspannung 20 kV, VP-Modus, Detektoren VPSE, QBSD, EDX.

- **Soxhlet-Extraktion**

**Allgemein:**

Zur Isolation und Quantifizierung extrahierbaren Additive. Analyse der Extrakte mittels IR-Spektroskopie möglich

**Spezifisch:**

Bestimmung und Quantifizierung monomerer Weichmacher (Phthalsäureester) im PVC-EVA-Gemisch

**Parameter:**

Lösungsmittel Diethylether, Extraktionsdauer 7h, Doppelbestimmung.

- **Dynamische Differenzkalorimetrie im oxidativen Induktionstemperatur-Modus (DSC-OIT)**

**Allgemein:**

Liefert Information zu oxidativer Schädigung, hauptsächlich für Olefine geeignet.

**Spezifisch:**

Versuch, trotz PVC (Zersetzung um 190 °C), Information über Unterschiede in der Oxidationsstabilisierung der Proben zu erhalten.

**Parameter:**

Temperaturprofil 0 °C - 180 °C, Atmosphäre O<sub>2</sub>

## 5. Rückstellmuster und Referenzdaten

Neben Materialproben aus 2012 geschädigten Dächern waren als Rückstellmuster verfügbar:

- vom Unterzeichner im freien Markt erworbene Bahnenrollen aus der laufenden Produktion der Jahre 1998 und 2008 (Trocken- und Dunkellagerung im Labor)
- Bahnenrolle aus einer Lieferung des Produktionsjahres 2010 (Trocken- und Dunkellagerung im Lager des Auftraggebers der geschädigten Dachfläche)

Im Labor des Unterzeichners vorliegende Referenzdaten für das Neumaterial und nach praxisorientierter Beanspruchung wurden im Rahmen der Materialprüfungen im Jahr 2008 ermittelt und von

Ernst (2009) veröffentlicht. Weitere Referenzwerte stammen aus mehreren untersuchten Schadensfällen desselben Produktes aus den Jahren 2005 – 2011 mit unterschiedlichen Liegezeiten.

## 6. Untersuchungsergebnisse

Zur Verdeutlichung nachfolgender Ausführungen sind die Veränderungen der Materialeigenschaften nach Normbeanspruchung (Ernst, 2009) vorangestellt:

### 6.1. Eigenschaftsveränderungen nach Beanspruchung im Labor

- Lagerung in Warmwasser gemäß DIN EN 1847, 50 °C, Prüfdauer 112 d, Veränderung: 27 %
- Lagerung in Kalkmilch gemäß DIN EN 1847, 50 °C, Prüfdauer 112 d, Veränderung: 41 %
- Lagerung in Schwefelsäurelösung gemäß DIN EN 1847, 50 °C, Prüfdauer 112 d, Veränderung: 66 %
- Hydrolyse  
 Prüfung nach Ernst (1992,1999), 90 °C, 95 % RF, Prüfdauer 7 d, Veränderung: 43 %

### 6.2. Eigenschaftsveränderungen nach zwei Jahren Liegezeit

Beim Vergleich des Rückstellmusters mit der geschädigten Bahn nach zwei Jahren Liegezeit konnten folgende Eigenschaftsveränderungen festgestellt werden:

- **Veränderung** der Schädigungstemperatur bei Widerstand gegen stoßartige Belastung (DIN EN 12691) bei Fallgewicht 500g, Fallhöhe 500 mm: von -30 °C auf -10 °C
- **Zunahme** der Kältekontraktionskräfte gegenüber Neumaterial (kp/m) ca. 22 %,
- **deutliche Zunahme** des E-Moduls MPa (Versprödung) gegenüber Neumaterial um ca. 50 %,
- **relativ hohe Abnahme** der Reißdehnung nach nur ca. zwei Jahren Liegezeit im Mittel ca. 23 %.

### 6.3. Materialveränderungen 1998 – 2010

Der Vergleich von Neumaterial aus den Produktionsjahren 1998 und 2010 (Tabelle 1) zeigt auf, dass der Anteil an EVA erhöht wurde. Der Anteil an PVC wurde reduziert mit gleichzeitiger Erhöhung des Weichmacheranteils. Ferner wurde Talkum (Magnesiumsilikat) durch Aluminiumhydroxid als Flammenschutz und Füller ersetzt.

Die DSC-Messwerte (Grafiken 1 und 2) unterstreichen die signifikanten Änderungen. Durch die deutlich abweichenden

Tab. 1: Vergleich der Rückstellmuster aus den Produktionsjahren 1998 und 2010

	Wert	Rückstellmuster 1998	Rückstellmuster 2010	Veränderung in %
EVA	Gew. %	28	31	+ 9,7
PVC	Gew. %	51	47,5	- 6,9
Zusatzstoffe	Gew. %	21	21,5	-
davon Weichmacher	Gew. %	12,2	14,5	+ 18,9

Tab. 2: Vergleich Rückstellmuster und geschädigte Dachbahn nach zwei Jahren frei bewitterter Liegezeit

	Wert	Rückstellmuster 2010	gesch. Dachbahn nach zwei Jahren Liegezeit	Veränderung in %
EVA	Gew. %	31	24,5	-21
PVC	Gew. %	47,5	47,3	-
Zusatzstoffe	Gew. %	21,5	28,2	+ 24

IR-Spektroskopien der beiden Erzeugnisse (1998/2010) wird die bemerkenswerte Werkstoffveränderung der Bahn dokumentiert.

### 6.4. Materialveränderungen nach zwei Jahren Liegezeit bis zum Schädenseintritt

Die (enorme) Abnahme von EVA und Zunahme der Zusatzstoffe (Tabelle 2) kann wie nachfolgend dargestellt interpretiert werden. Die Werkstoffveränderung ist auf die Hydrolyseanfälligkeit des Werkstoffes EVA bzw. auf die Materialveränderungen bei Beanspruchung durch Wasser, Kalkmilch und Säurelösung bei der Bahn zurückzuführen – deutliche Hinweise ergeben sich aus den unter 6.1 dargestellten Prüfergebnisse – Eigenschaftsveränderungen durch Normbeanspruchung im Labor.

Bei weiterer Auswertung (Tabelle 3) sind folgende Veränderungen festzustellen: Für die kurze Liegezeit der Bahn von ca. zwei Jahren ist die Abnahme der Polymeranteile (EVA und PVC-P), sowie ein relativ hoher Verlust von Weichmacher besonders signifikant. Dies deutet auf eine nicht erprobte Änderung der früheren Rezeptur bzw. Wechsel der Komponenten hin.

## 7. Ursachen der Schäden

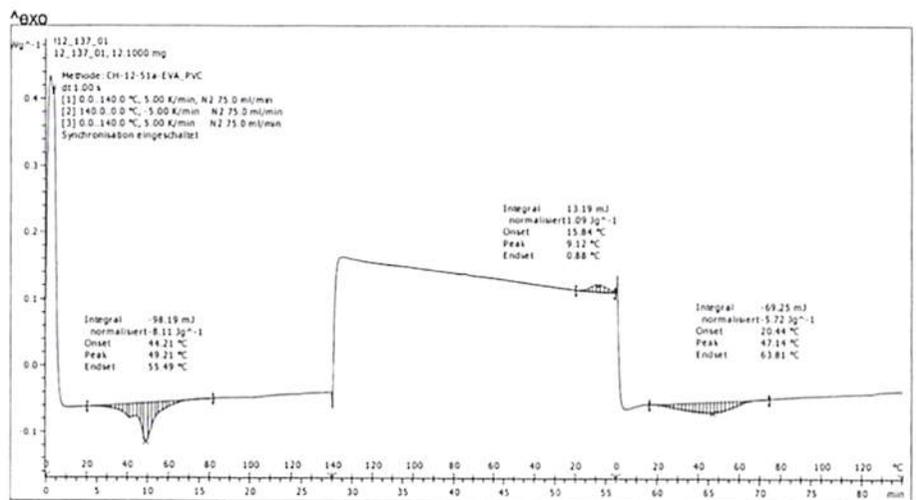
Die Schäden bei der Bahn auf Werkstoffbasis EVA/PVC sind zurückzuführen auf eine Werkstoffveränderung speziell des Polymers EVA und auf einen deutlichen Phthalat-Weichmacherverlust. Daraus resultiert eine:

- **Volumenkontraktion**  
Das Gesamtvolumen ist kleiner als die Summe der Volumina der einzelnen Komponenten – das Gesamtvolumen der Bahn schrumpft
- **Verminderung der Kältebeständigkeit**  
Durch den äußeren Einfluss von Kälte (Kahlfrost mit Wind im Januar 2012) erfolgt eine Kältekontraktion, basierend auf dem werkstoffspezifischen

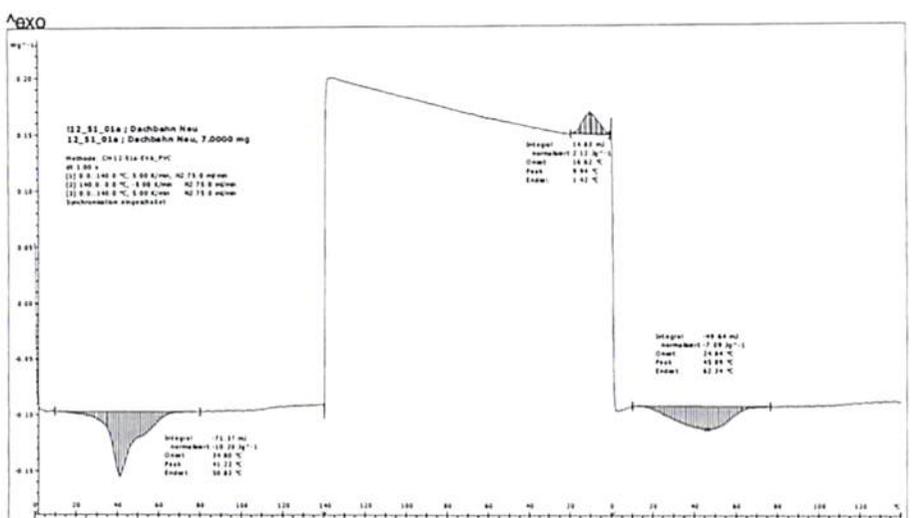
Ausdehnungskoeffizienten. Ergänzend zu den ermittelten Alterungsveränderungen des Werkstoffes und zur Volumenkontraktion durch Verlust an Rezepturkomponenten wie EVA sowie Phthalat-Weichmacher führt diese Kältekontraktion zu erhöht auftretenden Zugkräften welche die Rissbildung, schon bei geringster mechanischer Beanspruchung, deutlich fördert.

## 8. Prognosen

Berücksichtigt man alle im Labor des Unterzeichners vorliegenden Untersuchungsergebnisse aus den letzten Jahren über die Dachbahn mit der Bezeichnung »DE/E1 EVA-BV-KPV-1,5« aus verschiedenen Produktionsjahren und vergleichbaren Objekten, können Prognosen über die zu erwartende Lebensdauer der Bahn bei natürlichem Alterungsverhalten vereinfacht (linear) dargestellt werden. Deutlich



Grafik 1: DSC Messung am Rückstellmuster 1998



Grafik 2: DSC Messung am Rückstellmuster 2010

Tab. 3: Veränderungen der PVC, EVA und Weichmacherkomponenten in zwei Jahren

	Wert	Rückstellmuster 2010	Mittelwert geschädigte Dachflächen 2012	Veränderung in %
Gesamtpolymeranteil EVA + PVC	Gew. %	78,5	72,4	- 7,8
EVA-Anteil an Polymeren	Gew. %	39,5	33,8	- 14,4
Phthalat-Anteil in PVC-P	Gew. %	30,5	25,8	- 15,4
Phthalat-Anteil auf 100 reines PVC	Gew. %	43,9	34,8	- 20,7



Abb. 4: Industriedachfläche mit großflächigen Splitterbrüchen (Shattering) im Frühjahr 2012

erkennbar wird in Grafik 4 der Unterschied der Prognose über Bahnen älteren (14 – 18 Jahre) und jüngeren Herstellungsdatum (6 – 8 Jahre).

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse sind direkt in Bezug gesetzt zu 37 % des Sollwertes vom Neumaterial. Dieser Sollwert wird in der einschlägigen Literatur als physikalischer Grenzwert definiert, bei dem der Produktnutzen zweifelhaft wird, d. h. in der Regel die Lebensdauer des Produktes erreicht ist und eine Sanierung ansteht.

Ergänzend sind die Schadenseintritte nach Liegezeit und Prüfergebnisse über die tatsächliche Veränderung der Materialeigenschaften zum Schadenseintritt dargestellt. Vervollständigt wird die Darstellung durch die Dauer der Materialgarantie. »Für die Bahn wurde die Materialgarantie beim ZVDH in neuer Form hinterlegt. Gemäß der überarbeiteten Geltungsdauer garantiert das Unternehmen allen Innungsbetrieben für 6 Jahre bei nachgewiesenem Produktmangel Ersatzleistungen im Rahmen der Garantievereinbarungen« (DDH, 2013).

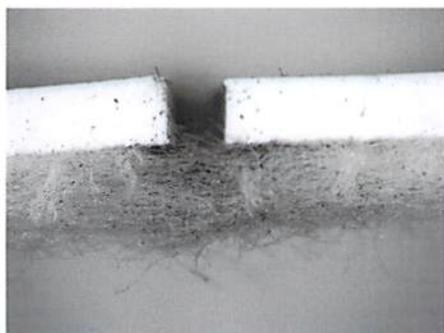


Abb. 3: Kältesplitterbruch im Querschnitt durch homogene EVA/PVC-Bahn mit unterseitiger Vlieskaschierung

## 9. Aktueller Sachstand

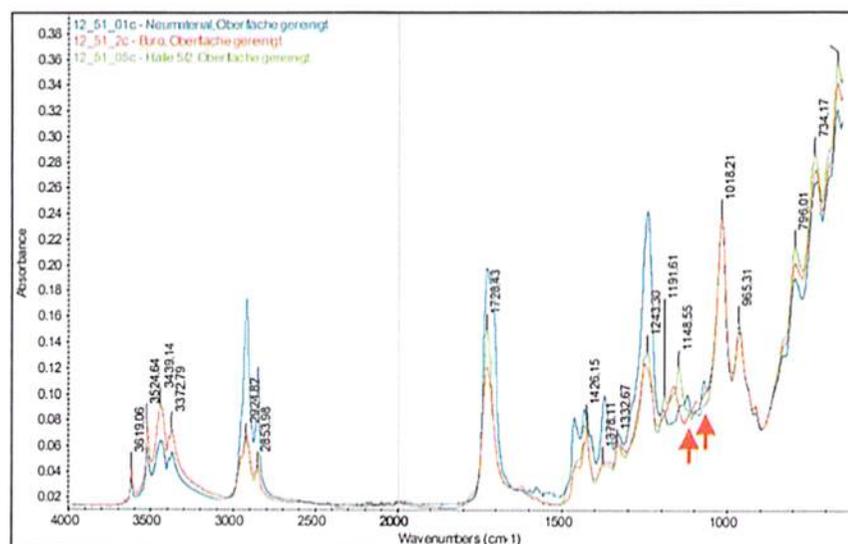
Nach dem aktuellen Sachstand, vorgestellt auf der Sachverständigentagung 2013 des ZVDH, soll es auf Herstellerbene Feldstudien zu Temperatur- und Bruchverhalten gegeben haben und Rezepturen von einzelnen Bahnen angepasst worden sein (?). Ferner sieht der ZVDH Handlungsbedarf auf Normungsebene (ZENK, 2013). Dies ist jedoch differenziert zu bewerten, denn:

»Die Dachabdichtungsnorm (DIN 18531) ordnet zum Beispiel durchweg alle Kunststoff- und Elastomerbahnen derselben Eigenschaftsklasse zu, obwohl man aus praktischer Erfahrung weiß, dass diese so einheitlich klassifizierte Bahnen vielfalt tatsächlich keineswegs gleich leistungsfähig ist. Von den Herstellern und ihren wissenschaftlichen Beratern ist kein interessenunabhängiger Beitrag zur Lösung dieses Problems zu erwarten.

Umso positiver sollten alle Anwender, die auf zuverlässige Dächer Wert legen, Untersuchungen begrüßen, die zur Verbesserung der Informationslage beitragen und für mehr Markttransparenz sorgen. Die Untersuchungen von Ernst (2009) ergänzen durch praxisnahe Prüfungen unser Bild über das Verhalten von Dachabdichtungen unter Baustellen-/Einbaubedingungen (und zum Langzeitverhalten). Sie spiegeln auch die zum Teil extremen Eigenschaftsschwankungen innerhalb einer Produktgruppe wider und machen damit deutlich, dass eine begründete Entscheidung für ein bestimmtes Produkt nur auf der Basis sinnvoller Anforderungsprofile getroffen werden kann« (Oswald, 2009).

## 10. Zukünftige Schadensvermeidung

In Anbetracht der vorliegenden Untersuchungsergebnisse muss man nicht mehr



Grafik 3: IR-Spektren, gemessen an Oberflächen des Rückstellmusters und bei Proben der geschädigten Dachfläche

# Hier könnte Ihre Anzeige stehen!

Sie suchen...

- neue Kunden?
- neue Mitarbeiter?
- mehr Umsatz?

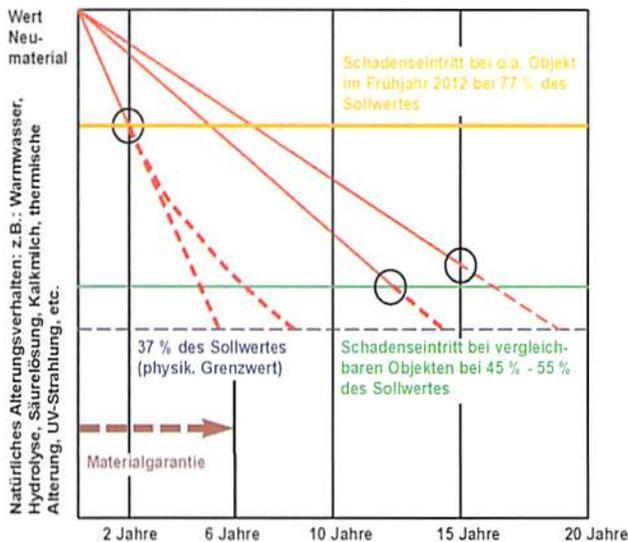
Dann fordern Sie unsere aktuellen Mediadaten an oder Sie fragen direkt nach einem Angebot.



## Kontakt:

Hans Stender  
 Tel. 0221 / 9 76 68 - 343  
 Fax 0221 / 9 7668 - 397  
 hans.stender@bundesanzeiger.de  
[www.bundesanzeiger-verlag.de](http://www.bundesanzeiger-verlag.de)

 **Bundesanzeiger**  
 Verlag



Grafik 4:

Vereinfachte grafische Darstellung über den Verlauf des Alterungsverhaltens (linear) mit Lebensdauerprognose der beschriebenen Dachbahn auf Werkstoffbasis EVA/PVC (1,5 mm) mit Berücksichtigung der Schadenseintritte

kontrovers diskutieren. Die Fakten liegen auf der Hand. Die Witterungsverhältnisse des Winters 2011/2012 können jederzeit wieder eintreten. Daraus resultieren vonseiten der Europäischen Vereinigung dauerhaft dichtes Dach e.V. folgende Hinweise, Empfehlungen bzw. Forderungen:

- Homogene (unarmierte) PVC-Bahnen bzw. homogene Bahnen mit PVC-Anteil gehören nicht mehr auf das (frei bewitterte) Dach.
- Alle Baubeteiligten: Auftraggeber, Bauherrn, Planer und Verarbeiter gehen mit einer Entscheidung zu homogenen PVC-Bahnen bzw. Bahnen mit PVC-Anteil ein unkalkulierbares Risiko ein.
- Planer, die nach dem heutigen Erkenntnisstand solche Bahnen noch ausschreiben bzw. Verarbeiter, die solche Bahnen noch verlegen, handeln (grob) fahrlässig.
- Bei armierten/verstärkten Kunststoffbahnen sollte eine effektive Dicke von 1,8 mm nicht unterschritten werden.
- Die Auswahl der Bahnen sollte nach praxisrelevanten Prüfkriterien erfolgen. Solche wurden bereits 2009 von Ernst veröffentlicht.

## Literatur

- Ernst, Wolfgang et al.: Fachbuchreihe Dachabdichtung Dachbegrünung, Teil VI – Abdichtungen. Über 100 Produkte im direkten Qualitätsvergleich. Pullach: Selbstverlag, 2009
- ZVDH: Zentralverband des deutschen Dachdeckerhandwerks, Sachverständigenbefragung zum Thema Shattering und ZVDH-Um-

- frage: Schadensfälle im Flachdach, Shattering, Manuskripte, Köln, 2012
- Paroli, Ralph; Smith, Thomas; Whelan, Brian: Shattering of unreinforced PVC roof membranes: Problem phenomenon, causes and prevention. In: National Roofing Contractors Association NRCA (Hrsg.): Problems: Issues and answers. Proceedings of the 10th Conference on Roofing Technology, April 22 - 23, 1993, Gaithersburg, Maryland
- Zenk, Michael: Zwischen Dialog und Diskussion. Sachverständigentagung. DDH Das Dachdeckerhandwerk 134(2013), Nr. 22, S. 36-38
- DDH: »Kurz notiert / Garantie«. DDH Das Dachdeckerhandwerk 134(2013), Nr. 12, S. 51
- Oswald, R.: Vorwort in: Fachbuchreihe Dachabdichtung Dachbegrünung, Teil VI – Abdichtungen. Über 100 Produkte im direkten Qualitätsvergleich. Pullach: Selbstverlag, 2009

## Kontakt/Information

**Dipl.-Ing. Wolfgang Ernst**  
 nach DIN EN ISO 17024 zert. Bausachverständiger  
 Präsident der Europäischen Vereinigung dauerhaft dichtes Dach - ddDach e.V.  
 Sachverständigenbüro dicht + grün  
 Wolfrathshäuser Str. 45b  
 82049 Pullach i.l.  
 Tel. 089/7938610  
 we82049@aol.com  
[www.dichtundgruen.de](http://www.dichtundgruen.de)