

Shattering 2012 und EVA-Bahnen

– Dichtung und Wahrheit

– Irrungen eines Sachverständigen

Ein Beitrag zum misslungenen Versuch einer Aufarbeitung der Schadensursachen durch den Präsidenten der Europäischen Vereinigung dauerhaft dichtes Dach ddDach e.V. Wolfgang Ernst in: Der Bausachverständige 10 (2014), H. 3, S. 19-23

1 Einleitung

Nach dem gegen Ende des Winters 2011/2012 aufgetretenen Shattering, der aus den USA stammenden Bezeichnung eines Kältesprödbbruchphänomens, welches schon Jahre zuvor vor allem in der Bundesrepublik Deutschland in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts an Dachbahnen aus monomer weichgemachtem Polyvinylchlorid (PVC-P) verbreitet war, bei dem nunmehr neben PVC-P-Dachbahnen erstmals auch solche aus Ethylen-Vinylacetat-Copolymer (EVA) und sogar einige Deponieabdichtungen aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD) beteiligt waren, stellte der Präsident der Europäischen Vereinigung dauerhaft dichtes Dach ddDach e.V., Wolfgang Ernst, u. a. in der Zeitschrift »Der Bausachverständige« [1] Eignung und Dauerhaftigkeit von EVA-Bahnen für Dachabdichtungen infrage, darüber hinaus nahezu inhaltsgleich in einem Beitrag auf einer internationalen Tagung [2], ferner im Informationsblatt des von Ernst geleiteten Vereins [3]. Dabei warf er der untersuchten EVA-Bahn schon nach einer Liegezeit von nur rund zwei Jahren auf einem Dach in Deutschland vor, dass sie sich stofflich gegenüber einer gleich alten, dunkel und trocken gelagerten Referenz so sehr verändert habe, dass hierdurch wichtige Materialeigenschaften in erheblichem, die Lebensdauer entscheidend verringernenden Maße in Mitleidenschaft gezogen worden seien. Unter Berufung auf in Auftrag gegebene Laboranalysen versuchte er nachzuweisen, dass trotz der geringen Liegezeit erhebliche Verluste an polymeren Rezepturkomponenten – hier nennt er explizit EVA, dessen Verluste er auf Hydrolyseprozesse zurückführt – sowie an Phthalat-Weichmacher eingetreten seien. Zusammenfassend prognostiziert er homogenen EVA-Bahnen eine Lebensdauer von deutlich unter 10 Jahren und hebt u. a. deshalb warnend hervor, dass Planer und Verarbeiter, die solche Bahnen ausschreiben bzw. verlegen, »(grob) fahrlässig handeln«.

Die von Ernst erhobenen Vorwürfe stehen in diametralem Gegensatz zu den Erfahrungen des erstgenannten Autors, der gemeinsam mit dem Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB)/MPA für das Bauwesen der Technischen Universität Braunschweig auf verschiedenen Objekten verlegte EVA-Bahnen des Produktherstellers Alwitra über Jahrzehnte prüftechnisch vorwiegend im Auftrag eines Wettbewerbers begleitet und hierbei eine Lebenserwartung von schlussendlich

Anmerkungen des Zweitautors

Die von Ernst in seinen Veröffentlichungen zitierten chemisch-analytischen Untersuchungsergebnisse wurden ohne jegliche Rücksprache mit dem beigezogenen externen Prüfinstitut publiziert. Dieses kann nach erfolgter Prüfung der Inhalte weder die dort dargestellten Ergebnisse noch die daraus abgeleiteten Schlüsse mitverantworten.

In der Publikation wurden durchweg absolute Gehaltswerte genannt, ohne dabei auf die vom Prüfinstitut ausgewiesenen Toleranzen und zugrunde gelegten Vergleichswerte hinzuweisen. So erfolgte beispielsweise die Ermittlung des EVA-Anteils der untersuchten Proben mit einer Genauigkeit (wie in jedem Prüfbericht des Instituts angegeben) von mindestens $\pm 3\%$ (also bestenfalls mit einer Bandbreite von 6%) unter Zugrundelegung eines bestimmten, im Bericht auch angegebenen EVA-Typs, der – wie nun dem Institut bekannt – nicht dem bei EVALON eingesetzten Typ entspricht. Da die Grundlage der verwendeten Mess- und Auswertemethode auf dem Vinylacetat-Anteil des eingesetzten EVA fußt, sind die Ergebnisse bei einem hiervon abweichenden Typ schließlich höchstens beschränkt verwendbar.

Diese Ausgangslage war denn auch einer der Beweggründe für das Initiieren und die Durchführung der hier dokumentierten Studie, die unter der Leitung des Erstautors durchgeführt wurde und bei welcher mit exakt definierten Asservat- und Referenz-Materialien bzw. tatsächlich eingesetzten Vergleichssubstanzen gearbeitet wurde. Die erhaltenen Ergebnisse widerlegen allesamt die durch Ernst berichteten Eigenschaften sowie die daraus abgeleiteten Behauptungen und Empfehlungen zu EVALON EVA-Bahnen. Sie stellen insbesondere auch die Gehaltsangaben der Inhaltsstoffe und damit die Arbeit des externen Prüfinstituts ins richtige Licht.

Prof. Dr. Samuel Affolter, Buchs (CH)

30 Jahren und mehr prognostiziert hatte [4]. Darüber hinaus musste er im Rahmen von Rechtsstreiten als von der IHK Braunschweig öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger im Auftrag der Gerichte u. a. klären, ob von Alwitra hergestellte EVA-Bahnen monomere Weichmacher enthalten – ein Vorwurf, der sich in keinem einzigen Fall bewahrheitete, da die Phthalatgehalte stets weit unter dem Mindestgrenzwert für eine weichmachende Wirkung lagen. Aus diesem Grund unterzog er die von Ernst auszugsweise zitierten und in seiner Publikation abgedruckten analytischen Ergebnisse, die nach dessen Angaben vom Institut für Mikro- und Nanotechnologie MNT – Bereich Polymerics der Interstaatlichen Hochschule für Technik Buchs (NTB), Schweiz, erarbeitet worden waren, im Hinblick auf die daraus von Ernst abgeleiteten Aussagen einer Plausibilitätsüberprüfung; sie ergab, dass die zitierten Analysenbefunde keine belastbaren Aussagen im Sinne der von Ernst erhobenen Vorwürfe gestatten. Hierauf wird später noch detailliert eingegangen.

Diesen Umstand nahm der erstgenannte Autor zum Anlass, den Leiter des genannten Schweizer Hochschulinstituts, Herrn Professor Dr. Affolter, zu kontaktieren und ihn um seine Ansicht zur Frage der Kompatibilität der Vorwürfe von Ernst mit den zitierten Analyseergebnissen seines Instituts zu bitten. Zwar konnte dieser aus Vertraulichkeitsgründen keine konkreten Ergebnisse der von seinem Institut im Auftrag von Ernst durchgeführten Analysen nennen, was eine rasche, nachvollziehbar begründete, kritische Überprüfung der Schlussfolgerungen in dessen Publikation ermöglicht hätte. Er schloss sich aber nach Prüfung der Kritik des Erstautors an und erklärte sich spontan bereit, an der Festlegung eines wissenschaftlich fundierten Untersuchungsprogramms, das eindeutige Aussagen im Hinblick auf die von Ernst in den Raum gestellten Vorwürfe ermöglicht, und darüber hinaus für den Fall, dass sich diese Vorwürfe als unhaltbar erweisen sollten, als Koautor einer Publikation mitzuwirken, die sich an den gleichen Leserkreis wenden sollte wie die Veröffentlichung von Ernst. Aus diesem Grund wurde auch hierfür die Zeitschrift »Der Bausachverständige« gewählt.

2 Untersuchte Bahnen

Da die von Ernst untersuchte EVA-Dachbahn im Jahr 2012 entnommen wurde und zwei Jahre lang auf einem Flachdach in Deutschland gelegen haben soll, ist als Produktionsjahr das Jahr 2010 anzunehmen. Aus diesem Grund wurden für die beabsichtigten Prüfungen und Analysen zwei mit der EVA-Dachbahn Evalon V 1,2 mm aus dem gleichen Produktionsjahr versehene Dächer ausgewählt, und zwar die Dächer einer Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet und einer Fahrzeug-/Wartungshalle in Hamburg. In beiden Fällen handelt es sich um im Jahr 2010 ausgeführte Abdichtungen von nichtdurchlüfteten Dachkonstruktionen auf Stahltrapezblechen. Die Evalon V-Dachbahnen waren mechanisch befestigt, im Falle der Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet (Ausführungszeitraum Sommer/Herbst 2010) mit Nahtsaum, im Falle der Fahrzeug-/Wartungshalle in Hamburg (Ausführungszeitraum Herbst 2010) mit Feldebefestigungen. Beide Dächer waren mehrere Tausend Quadratmeter groß.

Zunächst wurden die Dachflächen großflächig inspiziert und als frei von augenscheinlichen Schäden befunden; sensorisch erwiesen sie sich als EVA-Bahnen-typisch flexibel. Auf jedem der beiden Dächer wurden je drei Stellen für eine Probenentnahme

ausgewählt, an denen die mittels Laser neben der Naht eingravierte Chargennummer nach Reinigung mit Wasser noch deutlich lesbar war. Dort wurden vom erstgenannten Autor jeweils knapp 1 m² große Proben unter Einschluss der Chargennummer asserviert, wobei zunächst ein der angestrebten Asservatgröße entsprechender U-förmiger Einschnitt vorgenommen und die Spaltbreite entlang dieser Schnitte über eine Dauer von 30 Minuten beobachtet wurde, um eine Information über das Rückstellverhalten für den Fall eventuell in der Bahn vorhandener Spannungen zu erlangen. Eine messbare Spaltvergrößerung trat während dieser Zeit nicht auf. Begehung und Asservatentnahme erfolgten am 29.08.2014 (Fahrzeug-/Wartungshalle in Hamburg) bzw. 01.09.2014 (Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet). Die Asservate wurden vom Erstautor zwecks Prüfung und Analyse direkt beim Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) / MPA für das Bauwesen für Prüf- und Analysenzwecke eingeliefert.

Von der Firma Alwitra wurden aus der dortigen Rückstellmustersammlung zeitnahe Muster erbeten. Die daraufhin dem genannten Prüfinstitut übersandten Rückstellmuster wichen hinsichtlich ihres Produktionszeitpunktes ausweislich der darauf befindlichen Chargennummern nur um wenige Stunden von der der Asservate ab. Im Falle der Speditionslagerhalle waren nur Muster mit einer Dicke von 1,5 mm vorhanden.

Sofern nachfolgend nichts anderes ausgeführt wird, wurden die Prüfungen, Untersuchungen und Analysen, deren Ergebnisse in der vorliegenden Publikation zitiert werden, vom Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) / MPA für das Bauwesen der Technischen Universität Braunschweig vorgenommen. Die zitierten Ergebnisse entstammen dem Untersuchungsbericht [5] des iBMB.

3 Zug-Dehnungsverhalten, E-Modul und Kältekontraktion

Das Zug-Dehnungsverhalten wurde nach DIN EN 12311-2 Verfahren B mit einer Prüfgeschwindigkeit von 100 mm/min bestimmt. Aufgrund der beschränkten Größe der Rückstellmuster erfolgten alle mechanisch-technologischen Prüfungen in Längsrichtung. Die Probekörper waren vor der Vorlagerung vom rückseitigen Polyestervlies befreit worden, um die Ermittlung der Auswirkungen der rund vierjährigen Bewitterung nicht durch die sonst überlagernde Vliesmitwirkung am Zug-Dehnungsverhalten zu erschweren.

In Abb. 1 sind die gewonnenen Spannungs-Dehnungsdiagramme sämtlicher geprüfter Asservat- und Rückstellmusterproben für die beiden Objekte in Hamburg und im Ruhrgebiet wiedergegeben. Die Bandbreite des Kurvenkonvoluts ist ausgesprochen schmal und belegt somit sehr anschaulich, dass zwischen den Asservaten der beiden Objekte und den zugehörigen Rückstellmustern im Hinblick auf Zugfestigkeit, Reißdehnung und E-Modul $E_{1/2}$ nur marginale Unterschiede im Bereich üblicher Messunsicherheiten bestehen. Da es bezüglich der Detektion des Bewitterungseinflusses lediglich auf die Relation der genannten Kennwerte zwischen Asservaten und Rückstellmustern ankommt und zudem die Streuung der Messwerte gering ist, konnte auf eine gesonderte Feststellung des E-Moduls mit geringerer Prüfgeschwindigkeit verzichtet werden. Die ermittelten prozentualen Veränderungen der Kennwerte sind Tabelle 1 zu entnehmen.

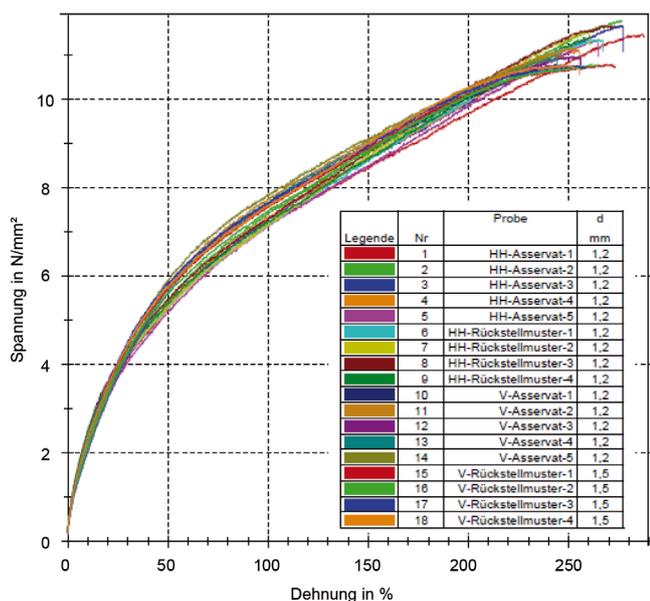


Abb. 1: Spannungs-Dehnungsdiagramme von Evalon V
 HH = Fahrzeug-/Wartungshalle in Hamburg
 V = Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet
 -1 ... -5 = Nummer der aus den Asservaten bzw. Rückstellmustern herausgearbeiteten und geprüften Probe

Tabelle 1: Bewitterungsbedingte prozentuale Veränderung von Zugfestigkeit, Reißdehnung und E-Modul von vier Jahre lang verlegt gewesenen Evalon V-Dachbahnen gegenüber gleichaltrigen, neuwertigen Rückstellmustern

überprüftes Objekt	bewitterungsbedingte Veränderung gegenüber Rückstellmuster [%]		
	Zugfestigkeit σ_M	Reißdehnung ϵ_R	E-Modul $E_{1/2}$
Hamburg	-0,2	1,2	-3,5
Ruhrgebiet	1,7	-8,4	-9,5

Bezüglich der Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet ist zu beachten, dass die Bahndicke der Rückstellmuster 1,5 mm beträgt und damit nicht der Dicke der Asservate entspricht, die 1,2 mm beträgt. Hieraus resultieren beim Entfernen des rückseitigen Vlieses in Relation zum verbleibenden Bahnenquerschnitt im Falle der Asservate intensivere, da einen größeren Querschnittsanteil erfassende Kerbeffekte, die eine Verringerung der Deformationsreserven der Bahn zur Folge haben. Hieraus erklären sich die größeren Differenzen im Falle der prozentualen Reißdehnungs- und der E-Modulveränderungen. Bei gleicher Bahndicke der Rückstellmuster wären die Veränderungen deutlich geringer ausgefallen und dürften sich in der Größen-

ordnung der beim Objekt Fahrzeug-/Wartungshalle in Hamburg festgestellten Veränderungen bewegen.

Eine derart weitgehende Konstanz der Zugfestigkeit, wie sie aus Tabelle 1 ablesbar ist, ist nur denkbar, wenn die Oberflächen der Bahnen im Zuge des jahrelangen Angriffs durch die UV-Strahlung des Sonnenlichtes praktisch nicht geschädigt werden. Zur Absicherung des Vorliegens dieser Erkenntnis für die von den Objekten entnommenen Asservate wurden an diesen durch Schneiden erzeugte Querschnitte zunächst lichtmikroskopisch auf Mikrorissbildung untersucht und anschließend, als sich mittels der Lichtmikroskopie keine derartigen Phänomene abzeichneten, mit Hilfe der höher auflösenden Rasterelektronenmikroskopie (REM). Um selbst feinste Risschen leichter detektierbar zu machen und nicht Gefahr zu laufen, sie zu übersehen, wurden die Asservatproben mit ihrer Originaloberfläche nach obenweisend mit einem Biegeradius von gut 2 mm konvex gebogen, so dass die Oberfläche dann im gedehnten Zustand vorliegt, was zu einem Sichöffnen eventuell vorhandener Risschen führen würde. Abb. 2a zeigt die schlaufenartige Fixierung der Bahnenproben auf dem Probenhalter des Rasterelektronenmikroskops, Abb. 2b eine rasterelektronenmikroskopische Übersichtsaufnahme über den Probenquerschnitt im gerundeten Bereich. Bei der höheren Vergrößerung in den Abb. 3a und 3b ist die durch das Biegen erzeugte Rundung nicht mehr zu erkennen; die beiden Aufnahmen belegen exemplarisch, dass die Oberfläche beider Asservate tatsächlich frei von Mikrorissen ist.

Die Kältekontraktionskräfte wurden an vliesbefreiten streifenförmigen Probekörpern der Abmessungen 200 mm x 50 mm bei einer Einspannlänge von 120 mm durch Abkühlung der in eine Zugprüfmaschine bei 23°C eingespannten Proben auf eine Temperatur von -30°C ermittelt. Die Prüfzeit in der auf -30°C abgekühlten Temperierkammer betrug 1.200 s. Der sich infolge der abkühlbedingten Kontraktion der Probekörper einstellende Kraftverlauf zeigte, dass der thermische Einschwingvorgang bei allen geprüften Proben nach knapp 400 s abgeklungen war. Daher wurden die nach 400 s Prüfzeit ermittelten Zugkräfte zur Berechnung der prozentualen bewitterungsbedingten Veränderung zwischen Asservaten und Rückstellmustern herangezogen, wobei im Falle der 1,5 mm dicken Rückstellmuster für das Objekt Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet zur Dickennormierung auf die Asservatbahndicke von 1,2 mm eine proportionale Dickenkorrekturanpassung vorgenommen wurde. Die so errechneten bewitterungsbedingten Veränderungen enthält Tabelle 2.

Würdigt man die Ergebnisse der Zugprüfungen und Kältekontraktionsmessungen in einem Zwischenschritt, so belegen die in quantitativer Form vorliegenden prozentualen Verände-

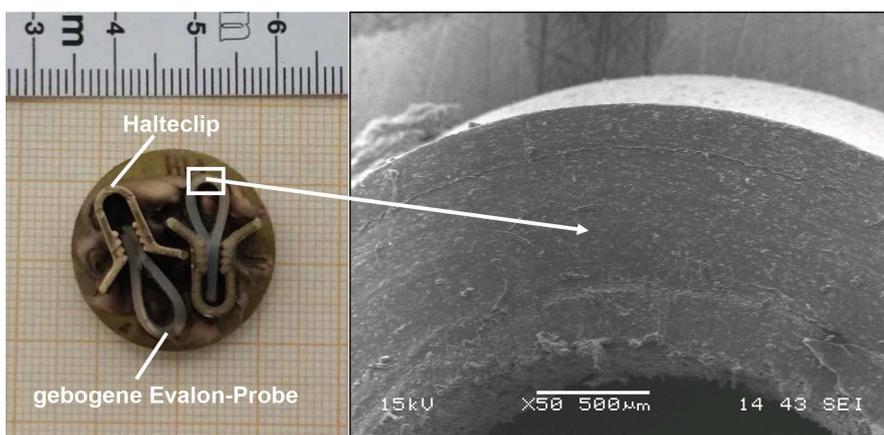


Abb. 2: REM-Aufnahme; Asservat Fahrzeug-/Wartungshalle in Hamburg; Bahnenquerschnitt einer konvex gebogenen Probe. Bewitterte Oberfläche ist oben (a) links: Probenanordnung auf REM-Probenhalter (b) rechts: REM-Übersichtsaufnahme: konvex gebogene Evalon-Probe

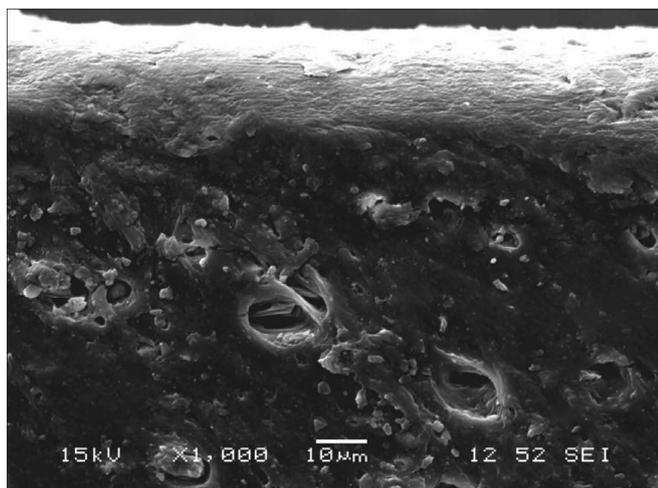


Abb. 3a: REM-Aufnahme; Asservat Fahrzeug-/Wartungshalle in Hamburg; Bahnenquerschnitt im Oberflächenbereich. Bewitterte Oberfläche ist oben

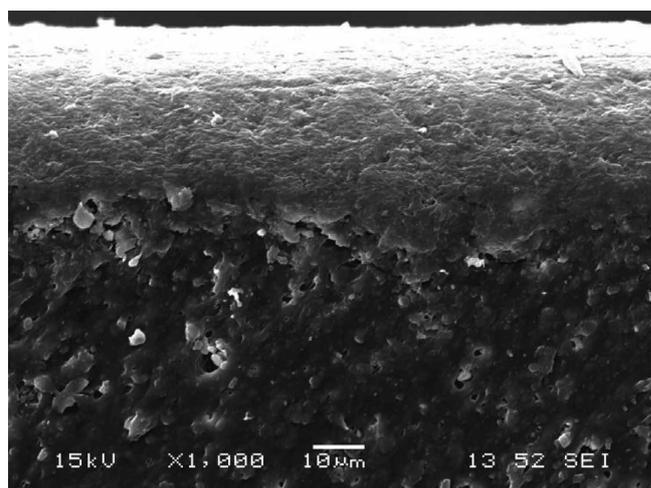


Abb. 3b: REM-Aufnahme; Asservat Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet; Bahnenquerschnitt im Oberflächenbereich. Bewitterte Oberfläche ist oben

Tabelle 2: Bewitterungsbedingte prozentuale Veränderung der maximalen Kältekontraktionskraft bei Abkühlung von vier Jahre lang verlegt gewesenen Evalon V-Dachbahnen gegenüber gleichaltrigen, neuwertigen Rückstellmustern

überprüftes Objekt	maximale Kältekontraktionskraft bei Abkühlung von +23°C auf -30°C: bewitterungsbedingte Veränderung gegenüber Rückstellmuster [%]
Hamburg	-5,5
Ruhrgebiet	-2,0

rungen, die gegenüber sehr zeitnah mit wenigen Stunden Zeitabstand hergestelltem Neumaterial als Folge der vierjährigen Liegezeit und Bewitterung eingetreten sind, dass signifikante Materialveränderungen, wie sie der Sachverständige Ernst glaubt festgestellt zu haben, mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit auszuschließen sein dürften. Die Zugfestigkeit ist im Rahmen der Messgenauigkeit normgerechter Zugprüfmaschinen praktisch unverändert. E-Modul und die damit korrelierenden Kältekontraktionskräfte nehmen leicht ab und signalisieren folglich, dass entgegen den Angaben von Ernst keine Materialversprödung eingetreten ist. Die im Falle der Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet zahlenmäßige Verringerung der Reißdehnung ist dem Umstand geschuldet, dass als Folge der größeren Bahndicke des Rückstellmusters ein auf einem verringerten Einfluss der durch das Entfernen des rückseitigen Polyestervlieses zurückbleibenden Kerben beruhendes günstigeres Deformationsverhalten vorliegt, woraus eine scheinbare Verschlechterung der Asservatduktilität resultiert.

4 Werkstoffzusammensetzung

Um trotz der bei Würdigung der vorstehenden Ergebnisse der mechanisch-technologischen Prüfungen zu ziehenden Schlussfolgerungen im Hinblick auf einen Ausschluss signifikanter Materialveränderungen etwaige Restzweifel an einer solchen Aussage auszuschließen, aber auch um Klarheit hinsichtlich des wiederholten Vorwurfs von Ernst zu schaffen, wonach Evalon-Dachbahnen entgegen den Prospektangaben des Herstellers durch Phthalate monomer weichgemacht seien, wurde eine umfangreiche Palette physikochemischer Analysen vorgenommen, wobei wiederum beide Asservate sowie die zugehörigen Rückstellmuster in das Programm einbezogen wurden. Da die Firma Alwitra dem bereits benannten Prüfinstitut iBMB/MPA an der TU

Braunschweig die zur Herstellung der Evalon-Bahnen verwendeten Mischungsbestandteile als Reinsubstanzen zur Verfügung gestellt hat, konnte über die Erzeugung von Kalibrierreihen unter Anwendung eines aufwändigen Analysenszenarios, über welches nachfolgend stichwortartig berichtet wird, eine Vollanalyse der komplexen Werkstoffzusammensetzung realisiert werden. An Hand der gewonnenen Daten lassen sich auch ohne konkrete Nennung aller Mischungsbestandteile und der zugehörigen Gehaltsangaben sichere Aussagen zu den von Ernst erhobenen stoffbezogenen Vorwürfen treffen. Hierauf wird in den folgenden Abschnitten detailliert eingegangen. Um den Publikationsumfang nicht zu überfrachten, wird die Dokumentation der Analysenergebnisse mittels der bei den verschiedenen Analysemethoden gewonnenen Diagramme und Spektren auf das Objekt Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet beschränkt. Die korrespondierenden Resultate, die dem Objekt Fahrzeug-/Wartungshalle in Hamburg entstammen, sind soweit identisch, dass sie keinen darüber hinaus gehenden Erkenntnisgewinn erbringen und somit eine Wiedergabe entbehrlich machen.

Zur Vermeidung von Fremdstoffsignalen wurde die Oberfläche der Bahnensubstrate mechanisch durch Abschälen entfernt und das darunter liegende Material analysiert. Im Falle der bewitterten Asservate wären sonst Atmosphärrillen, die teils auf der Oberfläche aufliegen, teils aber auch in sie hineindiffundiert sind, im Falle des Neumaterials etwaige in der Fertigung verwendete Trennmittel in die analytische Beurteilung mit eingegangen und hätten damit die analytische Überprüfung von Identität oder stofflichen Unterschieden zwischen Asservaten und Rückstellmustern erschwert oder gar unmöglich gemacht.

Im Sinne eines Fingerprints bezüglich der Materialzusammensetzung wurden im ersten Schritt **thermogravimetrische Analysen (TGA)** durchgeführt. Hierzu werden Substrateinwaagen kontrolliert mit konstanter Aufheizgeschwindigkeit von Raumtemperatur bis zu einer Temperatur von 1.000°C erhitzt. Bis zu einer Temperatur von 825°C erfolgt die Aufheizung unter der Spülung mit Stickstoff als Schutzgas, um Verbrennungsprozesse zu unterbinden, darüber hinaus wird anstelle des Stickstoffs zum Zwecke der Verbrennung noch vorhandener Bestandteile gezielt mit Sauerstoff gespült. Während des gesamten Aufheizprogramms wird das Probengewicht kontinuierlich erfasst, wobei es in diskreten Temperaturintervallen zur selektiven Verdampfung von einzelnen enthaltenen (z. B. Phthalate) oder reaktiv umgesetzten (z. B. Abspaltung von HCl aus PVC, Reaktion von carbo-

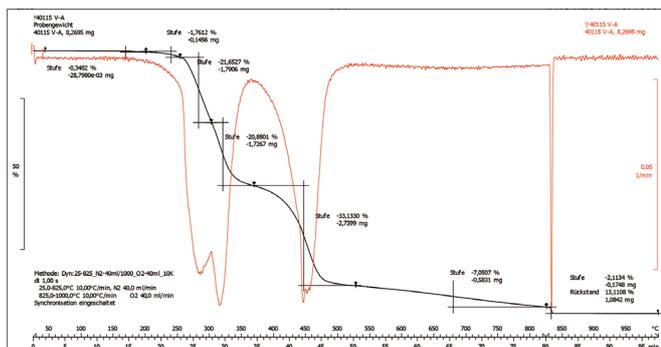


Abb. 4: TG-Thermogramm von Evalon V; Asservat Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet

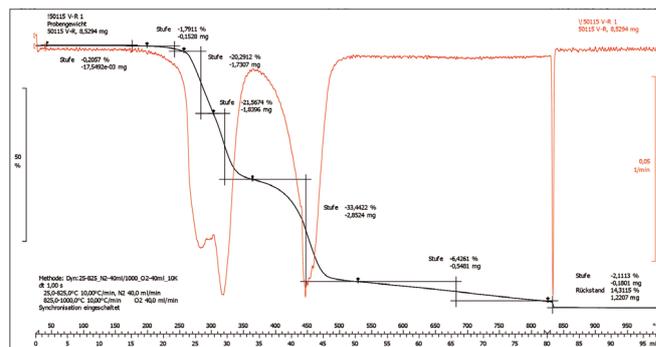


Abb. 5: TG-Thermogramm von Evalon V; Rückstellmuster Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet

nisierem C mit O₂ zu CO₂) Bestandteilen und damit zu einer stufenweisen Gewichtsreduzierung kommt, wie sie an den schwarzen Kurven in den TGA-Thermogrammen der Abb. 4 und 5 erkennbar ist. Differenziert man den Gewichtsverlauf über der Zeit/Temperatur, so wird anhand der sich dabei bei den einzelnen Stufen ergebenden Peaks deutlich, dass einige der Reduktionsstufen mehrstufig sind und somit bei der Differenzierung zu mehreren sich überlappenden Teilpeaks führen, so beispielsweise im Temperaturintervall zwischen ca. 230 °C und 360 °C. Jeder Teilpeak resultiert dann aus dem Verdampfen eines Mischungsbestandteils, wobei es in solchen Fällen schwierig wird, die Teilpeakumsetzungen für die jeweiligen Mischungsbestandteile exakt zu quantifizieren. Dennoch macht diese Form der Analyse bei Fragestellungen der hier zu behandelnden Art Sinn, um Hinweise auf stoffliche Identitäten oder Abweichungen in der Zusammensetzung von jahrelang bewitterten Asservaten und Rückstellmustern zu gewinnen. Wie die beiden Thermogramme in den Abb. 4 und 5 belegen, gleichen sich die Kurvenverläufe in erstaunlichem Maße, ebenso die Ergebnisse ihrer rechnergestützten quantitativen Auswertung. Die Messunsicherheit dieses Verfahrens beträgt stufenbezogen bei einigermaßen homogenen Polymermischungen etwa ±0,5%, was erlaubt, die beiden untersuchten Proben stofflich als praktisch identisch zu bezeichnen. Marginale Abweichungen sind dabei bei großtechnisch hergestellten Mischungen unvermeidlich: Angesichts der geringen Probeneinwaagen von knapp 10 mg und der großtechnisch selbst bei Anwendung sorgfältigster Mischungsaufbereitung sind lokal geringfügig unterschiedliche Mischungszusammensetzungen nicht zu verhindern, sodass die Zufälligkeit

der lokalen Substratentnahme hier stets eine – wenngleich in der Regel bei gut gemischten Produkten auch geringe – Mitwirkung zeigt. Aus diesem Grund sind zur Absicherung des Analysenergebnisses Mehrfachanalysen unumgänglich. Im vorliegenden Fall ist die nahezu gegebene Thermogrammidentität ein Beleg für eine hervorragend gelungene Mischungskonstanz und hohe Bewitterungsstabilität des Evalon-Produkts.

Bezüglich der Frage nach möglichen Veränderungen in der Zusammensetzung der polymeren Bindemittelbasis der Bahn, die im Falle von DIN-Norm gerechten EVA-Bahnen aus einer Mischung aus EVA und PVC besteht, gibt eine andere thermoanalytische Untersuchungsmethode Auskunft, nämlich die **Differential Scanning Calorimetry**, kurz **DSC** oder auch **DDK** (für **Dynamische Differenz Kalorimetrie**) genannt. Auch hierbei werden Substrateinwaagen von ca. 10 mg in einer Schutzgasatmosphäre einem kontrollierten Temperaturprogramm unterworfen und dabei Veränderungen von Entropie (z. B. Glasterperatur amorpher Polymere oder Polymeranteile) und Enthalpie (z. B. Schmelz- oder Kristallisationsprozesse) durch Vergleich mit einem gleichzeitig erhitzten Inertpräparat, welches keinerlei Veränderungen im untersuchten Temperaturintervall erfährt, aufgezeichnet. Diese Messmethode ist so empfindlich, dass selbst Änderungen in der molekularen Mikrostruktur, also der räumlichen Packung der Makromoleküle, in das Messsignal mit einfließen. Da sich das räumliche Miteinander der Makromoleküle durch Einwirkung von Temperaturen und energiereicher Strahlung verändert, wird das Ergebnis einer DSC-Analyse bei einer ersten Aufheizung einer jahrelang bewitterten Dachbahn ganz anders ausfallen als bei einer gleich alten, aber unbewitterten Mischungsidentischen Bahn. Aus diesem Grund müssen solche Präparate einer ersten kontrollierten Aufheizung unterzogen werden, um historische Einflüsse auf das strukturelle Miteinander unter den Makromolekülen von Polymerwerkstoffen zu beseitigen, dann kontrolliert abgekühlt werden, um einen thermisch definierten Zustand dieses strukturellen Miteinanders zu erzeugen, und schließlich der eigentlich relevanten zweiten kontrollierten Aufheizung unterworfen werden. Dieses dreigestufte Vorgehen veranschaulichen die DSC-Thermogramme in Abb. 6. Interessant im Sinne der stofflichen Identitätsfrage sind nur das jeweils rechte Diagrammdrittel und die dortige Peakgröße, die rechnerisch noch über die Präparateinwaage normiert werden muss und somit durch das sogenannte normierte Integral quantifiziert wird. Angesichts der standardmäßig

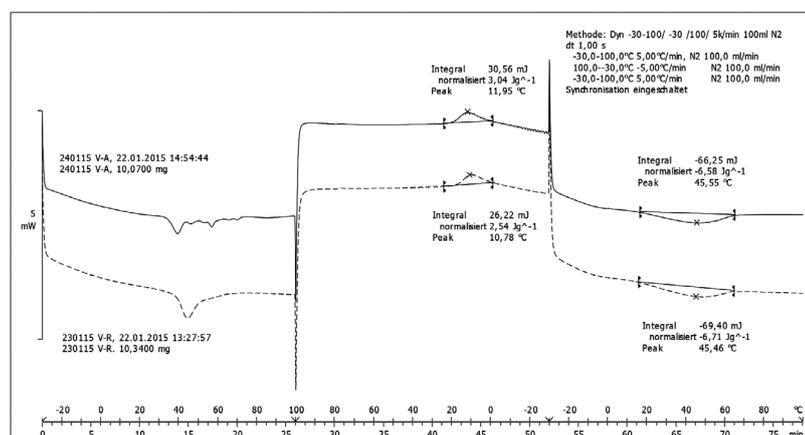


Abb. 6: DSC-Thermogramme von Evalon V; Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet; obere Kurve: Asservat; untere Kurve: Rückstellmuster

zu erwarteten Messunsicherheit von bis zu ± 1 J/g in diesem Bereich sind Asservat und Rückstellmuster bezüglich ihrer Bindemittelbasis als identisch zu bezeichnen. Damit ist die Identität der stofflichen Zusammensetzung der polymeren Bindemittelbasis zwischen dem vier Jahre lang bewitterten Asservat und dem zugehörigen Rückstellmuster zu konstatieren.

Die mit Hilfe der **Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie (FT-IR)** gewonnenen Spektren, bei denen in Abhängigkeit von den Wellenzahlen (Kehrwert der Wellenlänge) des infraroten Lichtes dargestellt wird, bei welchen Wellenlängen welcher Anteil des Lichtes im Präparat absorbiert wird – das Ergebnis an einer solchen Stelle wird Bande genannt –, geben Auskunft über diejenigen Atomgruppen, Moleküle und Molekülgruppen organischer und anorganischer Art, die die jeweilige Lichtabsorption hervorgerufen haben. Schon der gewaltige Umfang von Spektren-Atlanten in Print- und Digitalform zeugt von der oftmals immensen Schwierigkeit einer eindeutigen Stoffidentifizierung von Stoffgemischen allein schon auf rein qualitativer Ebene. Die Schwierigkeiten potenzieren sich beim Versuch einer Quantifizierung, die ohne aufwändige Kalibrierreihen, deren Intervallgrenzen zudem die zu detektierende, meist noch unbekannte Mischungszusammensetzung enthalten müssen, in aller Regel gänzlich unmöglich ist. Im vorliegenden Fall diente die Infrarotspektroskopie vorwiegend zur qualitativen Klärung der Frage, ob signifikante Unterschiede in der Zusammensetzung der Bahnmischung in den Asservaten und in den Rückstellmustern vorherrschen. Ausweislich der beiden FT-IR-Spektren in Abb. 7 ist das eindeutig nicht der Fall.

Die IR-Spektren der mittels Soxhlet-Extraktion aus den Asservaten und den Rückstellmustern gewonnenen niedermolekularen Substanzen sind nahezu gleich. Dies veranschaulichen die FT-IR-Spektren in Abb. 8. Offenbar hat sich ein geringer Teil der extrahierbaren Bestandteile im Zuge der Bewitterung verflüchtigt, was das Verschwinden zweier beim Rückstellmusterextrakt auftretender kleiner Banden bei den Wellenzahlen 1530 cm^{-1} und 1551 cm^{-1} belegt, die zwecks besserer Erkennbarkeit in Abb. 8 mit Pfeilen markiert sind. Der prozentuale Gehalt an mittels Soxhlet-Extraktion extrahierbaren Bestandteilen war in den Asservaten stets etwas geringer als in den Referenzmustern, und zwar absolut bezogen auf die Ausgangswerte um 0,9 % beim Objekt Fahrzeug-/Wartungshalle in Hamburg und um 1,0 % beim Objekt Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet. Ob es sich bei den sich verflüchtigenden oder ausgewaschenen Substanzen um beigemischte Verarbeitungshilfen oder um beim Homogenisieren und Kalandrieren der Bahnmischung unvermeidbar, aber in – dank Stabilisatorzu-

gabe – sehr geringen Mengen durch Abspaltung entstehende niedermolekulare Stoffe handelt, wurde wegen der nachgewiesenen nicht gegebenen Relevanz im Hinblick auf die Bahneigenschaften aus Aufwandsgründen nicht näher untersucht.

Um zu überprüfen, ob die Anforderungen der deutschen Normung an die stoffliche Zusammensetzung von EVA-Bahnen sowohl bei den Referenzmustern als auch bei den Asservaten nach vierjähriger Liegezeit – hierfür gelten die Normanforderungen streng genommen gar nicht mehr – eingehalten sind, bedurfte es neben den bereits genannten Untersuchungen noch der analytischen Feststellung entweder des EVA- oder des PVC-Gehalts. Da analytisch festgestellt wurde, dass außer im PVC in keinem der übrigen, dem bereits erwähnten Prüfinstitut iBMB/MPA an der TU Braunschweig als Reinsubstanz vorliegenden Mischungsbestandteile der Evalon-Bahn das chemische Element Chlor enthalten ist, wurde der Chlorgehalt in den Asservaten und Rückstellmustern zur Bestimmung des PVC-Gehalts mit Hilfe der **energiedispersiven Röntgenmikroanalyse (EDX)** ermittelt. Durch Differenzbildung:

$$100\% - \Sigma(\text{Glührückstand} + \text{Extrakt} + \text{PVC})\% = \text{EVA}\%$$

konnte der EVA-Gehalt errechnet werden. Die Summe aus Glührückstand (mittels TGA ermittelt) und Extrakt (mittels Soxhlet-Extraktion ermittelt) entspricht der Normenstoffgruppe Zusatzstoffe + Stabilisatoren + Pigmente. Die hierfür vorgesehene Höchstgrenze von 30 % wurde bei allen Rückstellmustern und Asservaten eingehalten, ebenso diejenige für PVC in Höhe von 50 %; darüber hinaus wurde der Mindestgehalt an EVA von 25 % in allen Fällen klar überschritten. Mithin ist festzustellen, dass die Normanforderungen an die Mischungszusammensetzung der Evalon-Bahnen durchweg eingehalten wurden, was selbst bezüglich der vier Jahre lang bewitterten Asservate gilt. Die ermittelten EVA-Gehalte geben zudem keinen Hinweis auf den von Ernst in den Raum gestellten hydrolytischen Abbau des EVA's.

Abschließend wurde aus Gründen der vereinzelt von Dritten – so auch von Ernst – geäußerten Vermutung, wonach die Elastifizierung der Evalon-Bahnen im Gegensatz zu Hinweisen in den Technischen Informationen des Produktherstellers Alwitra u. a. auf der Zugabe von monomeren Weichmachern auf der Basis von Phthalaten beruht, der analytischen Bestimmung der Phthalatgehalte nachgegangen. Zu diesem Zweck hat der Erstauteur gemeinsam mit dem Fachpersonal eines für solche Untersuchungen zertifizierten Analysenlabors in dessen Räumen und mit dessen Geräten zunächst unter Zuhilfenahme des von Alwitra dem iBMB/MPA zur Verfügung gestellten Phthalat-Reinsubstrats

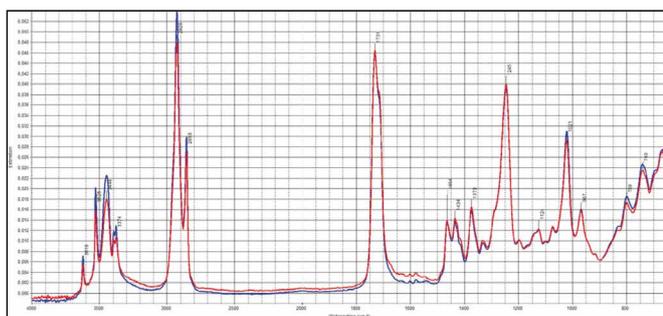


Abb. 7: FT-IR-Spektren von Evalon V; Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet; rotfarbenes Spektrum: Asservat; blaufarbenes Spektrum: Rückstellmuster

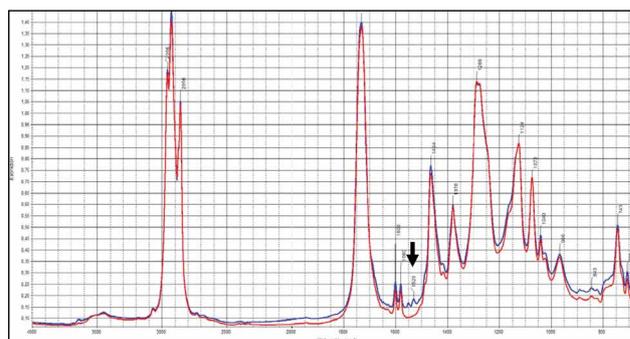


Abb. 8: FT-IR-Spektren von Soxhlet-Extrakt aus Evalon V-Bahnen; Speditionslagerhalle im Ruhrgebiet; rotfarbenes Spektrum: Asservat; blaufarbenes Spektrum: Rückstellmuster; Hauptunterschied zwischen den Spektren ist mit Pfeil markiert

nach vorheriger analytischer Überprüfung, dass eben dieses Phthalat in den Evalon-Bahnen tatsächlich zur Anwendung gelangte, gaschromatografische Kalibrierreihen erstellt. Der zweite Schritt bestand darin, unter Zuhilfenahme aufwändiger regelkonformer Präparationsschritte [6, 7, 8] die löslichen und anorganischen Bestandteile der Asservate und Rückstellmuster zu isolieren, die polymeren Bindemittel durch Ausflocken zu separieren und den Gehalt an dem spezifischen Phthalat mit Hilfe der Gaschromatografie mit hoher Genauigkeit zu ermitteln. Unter Beschränkung auf nur eine wertanzeigende Stelle hinter dem Komma ergaben sich die in Tabelle 3 zusammengestellten Gehalte.

Tabelle 3: Gaschromatografisch ermittelter Phthalatgehalt in den asservierten, vier Jahre lang verlegt gewesenen Evalon V-Dachbahnen und den gleichaltrigen, neuwertigen Rückstellmustern [9]

überprüftes Objekt	Phthalatgehalt [Masse-%]	
	Asservat	Rückstellmuster
Hamburg	7,2	7,5
Ruhrgebiet	7,2	7,4

Ausweislich der Tabelle 3 hat man zur Herstellung der Evalon-Dachbahnen eindeutig Phthalate verwendet. Dies ist bei der Verarbeitung von PVC hart-haltigen Produkten durchaus üblich. Sinn der Verwendung ist dabei allerdings nicht eine angestrebte weichmachende Wirkung, die bei so geringen Zumischungen ohnehin nicht zu erreichen wäre, da diese dann im Gegenteil eine »hartmachende« Wirkung haben und man deshalb in diesen Fällen in der einschlägigen Fachliteratur zutreffend von »Antiweichmachung« spricht [z. B. 10, 11, 12], sondern ihre das Homogenisieren und Fließen der zu kalandrierenden Kunststoffschmelze begünstigende Wirkung. Insofern sind die Hinweise des Produktherstellers von Evalon, wonach die Elastifizierung der Bahn nicht auf monomerer Weichmachung beruht, uneingeschränkt richtig.

Da der Phthalatgehalt gering ist, ist die treibende Kraft für eine Verflüchtigung oder Auswaschung der Phthalate im Zuge der Liegezeit auf dem Flachdach, nämlich das Konzentrationsgefälle zur Umgebung, mit einem Gehaltsrückgang um nur 0,2 % bis 0,3 % innerhalb von vier Jahren ebenfalls gering, unter Einbezug der Messunsicherheiten sogar eher unbedeutend. Konsequenterweise resultiert aus der Verringerung des antiweichmachenden Phthalats nicht der bei einem mit monomeren Weichmachern weichgemachten PVC-P eintretende Effekt einer nachlassenden Elastifizierung zugunsten einer Versprödung, sondern im Gegenteil – wie hier nachgewiesen – eine moderate Verringerung von E-Modul und Kältekontraktionskräften – ein aus der Sicht der Dauerhaftigkeit einer Dachbahn durchaus erwünschter Effekt.

5 Diskussion der Untersuchungsergebnisse, Prognose und Ausblick

Wie das Fehlen jeglichen Schrumpfes beim Einschneiden der EVA-Bahn auf den untersuchten Dächern, deren spannungsfreie Lage auf diesen Dächern und die Ergebnisse der mechanisch-technologischen Prüfungen gezeigt haben, gibt es angesichts des nahezu identischen Zug-Dehnungs- und Kältekontraktionsverhaltens zwischen den nach vier Jahren Liegezeit an unterschiedlichen Standorten in Deutschland entnommenen Asservaten und den chargengleichen Rückstellmustern keinen eigenschaftsbezogenen Hinweis auf signifikante bewitterungsbedingte Werkstoffveränderungen. Dieses Faktum steht in diametralem Gegensatz zu den Vorwürfen von Ernst, der an Bahnen

mit nur halber Liegezeit (zwei Jahre) eine ganz erhebliche Verschlechterung der dieses Verhalten beschreibenden Kennwerte festgestellt haben will.

Entgegen dem Vorgehen von Ernst im Hinblick auf die von ihm verwendeten Rückstellmuster wurde im vorliegenden Fall zum einen unter Zuhilfenahme der auf den Asservaten und den gewählten Rückstellmustern verzeichneten Chargennummern vor Aufnahme des Prüf- und Analysenprogramms sichergestellt, dass die Produktionszeiten zwischen Asservaten und Rückstellmustern nur um wenige Stunden differierten. Zum anderen versicherte sich der Erstautor durch Einsichtnahme in die Datenbanken des Qualitätssicherungssystems des Produktherstellers Alwitra davon, dass die Mischungszusammensetzung von Asservaten und Rückstellmustern identisch war. Somit war vor Aufnahme des umfangreichen Untersuchungsprogramms sichergestellt, dass sich die Rückstellmuster tatsächlich als Referenzprodukte für Prüfungen und Analysen eignen.

Gleichwohl wurde zur analytischen Absicherung der Vorermittlungen die Mischungsidentität zwischen Asservaten und Rückstellmustern mittels eines für die Detektion dieses Aspekts geeigneten analytischen Programms überprüft und in toto bestätigt.

Bezüglich dieses eminent wichtigen Punktes verlässt Ernst mit den von ihm publizierten Daten zur Stoffzusammensetzung von Asservaten und der von ihm so bezeichneten Rückstellmuster/Referenzdaten offenkundig den Boden der Tatsachen. Die von ihm unter Berufung auf den Untersuchungsbericht des von ihm beauftragten, vom Zweitautor geleiteten Prüflabors genannten Werte zur Zusammensetzung des Bahnenmaterials sind in dieser Form nicht nur teils fehlerbehaftet, sondern darüber hinaus teils auch in der Stoffzuordnung grob fehlinterpretiert. Bei einem ausgewiesenen Kunststofffachmann ist genügend Basiswissen zu erwarten, um zu erkennen, dass es bei dem zu beurteilenden Polymerwerkstoff aus chemisch-physikalischer Sicht selbst bei Annahme widrigster Begleitumstände nicht zu solch extremen Materialveränderungen kommen kann, wie sie Ernst schildert, schon gar nicht binnen zwei Jahren Liegezeit auf einem Flachdach in Deutschland, wo die Witterung im Mittel eher moderat ist.

Dies gilt analog auch hinsichtlich der von Ernst berichteten mechanischen Eigenschaften, die trotz sehr kurzer Liegezeit der EVA-Bahn auf dem Dach geradezu aberwitzige Veränderungen erfahren haben sollen, wie z. B. nach zweijähriger Liegezeit eine »Zunahme der Kältekontraktionskräfte gegenüber Neumaterial von ca. 22 %« – nach vierjähriger Liegezeit und bei Zugrundelegung eines wirklichen Rückstellmusters gleicher Mischungszusammensetzung ergibt sich im Rahmen der eigenen Untersuchungen hingegen eine Abnahme zwischen 2 % und 5,5 % – und eine laut Ernst »deutliche Zunahme des E-Moduls (Versprödung) gegenüber Neumaterial um ca. 50 %«, die sich in den eigenen Untersuchungen real nach vier Jahren Liegezeit und bei Zugrundelegung eines wirklichen Rückstellmusters gleicher Mischungszusammensetzung als eine Abnahme zwischen 3,5 % und 9,5 % und somit just als Gegenteil einer Versprödung herausstellt. Eine ähnliche Abnahme des E-Moduls als Folge einer Freibewitterung von EVA-Bahnen des Produktherstellers Alwitra dokumentiert auch der vom Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau herausgegebene Forschungsbericht F 1905, der vom Süddeutschen Kunststoff-Zentrum (SKZ) in Würzburg erarbeitet worden war [13]. Ganz anders liegen die Verhältnisse hingegen bei Bahnen aus PVC-P: Für diese wurde innerhalb einer praktischen Nutzung von 75 Monaten eine Vervielfachung des E-Moduls bis hin zum Faktor von knapp 6 ermittelt [14].

Mit den von Ernst grafisch wiedergegebenen Analysendaten sind die von ihm textlich im Kapitel 6.3 »Materialveränderungen 1998 – 2010« beigesteuerten Kommentare in keiner Weise, auch nicht ansatzweise, kompatibel: Die beiden DSC-Diagramme in den Grafiken 1 und 2 »unterstreichen die signifikanten Änderungen« gerade nicht, denn der optische Hauptunterschied resultiert aus unterschiedlichen Ordinatenmaßstäben. Und die in Grafik 3 vergleichend dargestellten – wohlbermerkt an den Oberflächen und nicht im Querschnitt der Probe (!) vermessenen – IR-Spektren der beiden Erzeugnisse sind weder »deutlich abweichend«, noch »wird die bemerkenswerte Werkstoffveränderung der Bahn dokumentiert.« Die geringen Unterschiede widerspiegeln höchstens die oberflächlichen stofflichen Veränderungen im Bereich weniger Mikrometer (< 5 µm), die durch Bewitterungseinflüsse problemlos erklärt werden können.

Vollkommen unverständlich aber ist das Vorgehen von Ernst im Hinblick auf die von ihm umfänglich argumentativ als Weichmacher interpretierten Phthalate bzw. Phthalsäureester, mittels derer er die EVA-Bahnen vollkommen zu Unrecht diskreditiert. Er nutzt ausweislich seiner Beschreibung im Kapitel 4 »Untersuchungsverfahren« dafür die Methode der Soxhlet-Extraktion und beschreibt die spezifische, von ihm verwendete Vorgehensweise wie folgt: »Bestimmung und Quantifizierung monomerer Weichmacher (Phthalsäureester) im PVC-EVA-Gemisch.« Dies ist allerdings bestenfalls nur eine Teilwahrheit und dies auch nur dann, wenn man die Extraktion als präparatives Hilfsmittel benutzt, um im Polymergemisch enthaltene extrahierbare – u. a. monomere – Bestandteile zu separieren und sie anschließend gezielten Analysen zuzuführen. Bekanntlich dient das Soxhlet-Verfahren der Extraktion aller auf diese Weise extrahierbarer Bestandteile, von denen ein Teil (aber welcher, wenn man am Extrakt keine weiterführenden kalibrierten Analysen vornimmt?) durchaus Phthalate sein können. In diese Richtung zielend ist der Hinweis von Ernst: »Analyse der Extrakte mittels IR-Spektroskopie möglich« zwar zutreffend, um die Existenz von Phthalaten im Extrakt nachzuweisen, aber nicht hinreichend, um ihren Gehalt zu quantifizieren. Genau dies aber hat er offenbar unterlassen, denn nach seiner Interpretation, die man erst nach Durchforsten und Hinterfragen seines tabellarischen Zahlenkonstrukts aus der Publikation abzuleiten vermag, besteht kurzer Hand der gesamte Extrakt aus Phthalsäureester – eine grob falsche, aber pragmatische Vorgehensweise, die für Ernst und den unkritischen Leser seines Artikels nun die Lösung der Shatteringursache ebenso einfach wie konsequent erscheinen lässt.

Es scheint sich nun nämlich der Kreis zum Shatteringgeschehen Anfang der 80er Jahre in den USA zu schließen, von denen Ernst im Rückblick in Kapitel 2 berichtet, ohne die in Deutschland schon Jahre früher in der Praxis ein großes Thema gewesen Schäden an PVC-P-Dächern zu erwähnen, die über einen Zeitraum von rund 10 Jahren zu umfangreichen Forschungsarbeiten u. a. in der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) in Berlin [z. B. 15, 16], aber auch in Kooperation mit Herstellern [z. B. 17] mit dem Ziel der Verbesserung der PVC-P-Bahnen und anschließend dank des dabei erworbenen Wissens zu Änderungen der DIN-Normung Anlass gaben. Im hiesigen Sprachraum wurden die Schäden seinerzeit allerdings nicht mit dem angelsächsischen Begriff Shattering umschrieben, da das Phänomen in den USA erst später auftrat und dort mit diesem Begriff bezeichnet wurde, sondern als auf Verlusten an monomeren Weichmachern beruhendes Kältesprödbbruchphänomen. Beide Begriffe beschreiben ein und dasselbe Phänomen,

nämlich den Verlust der PVC-P-Bahnen an monomerem Weichmacher und die damit einhergehende Versprödung des zuvor weichen PVCs zu einem nach und nach als Folge des mit dem Weichmacherverlust einhergehenden Glastemperaturanstiegs zu einem PVC hart gewordenen Bahnenmaterial, welches dann aufgrund der sich mit der Kältekontraktion aufbauenden Kräfte schließlich durch Sprödbbruch splitterartig versagte. Analoge Verhältnisse herrschen laut Ernst auch bei EVA-Bahnen vor, weil es sich hierbei seiner Ansicht nach eben auch um monomer mit Hilfe von Phthalsäureestern weichgemachte Bahnenprodukte handelt, welche vergleichbaren Prozessen unterliegen.

Dies versucht Ernst zu plausibilisieren, indem er die vermeintlichen Phthalatmengen komplett dem PVC-Anteil im EVA zuordnet. Mit Hilfe dieses Kunstgriffs erreicht der PVC-Anteil für PVC-P-Dachbahnen durchaus übliche Phthalatgehalte, nämlich beim »Rückstellmuster 2010« 43,9 Masse-% und beim zwei Jahre verlegt gewesenen Produkt 34,8 %. Nun ist zwar zuzugestehen, dass verschiedene Polymere nicht immer die gleiche Aufnahmebereitschaft für monomere Substanzen aufweisen, doch verhalten sich amorphe Kunststoffe diesbezüglich gegenüber Phthalaten in erster Näherung gleichartig, unabhängig davon, ob es sich um PVC, EVA oder beispielsweise Polystyrol-Hartschaum handelt. Letzterer spielt im vorliegenden Fall zwar keine Rolle, belegt aber das zuvor genannte Mischungsverhalten sehr anschaulich, da das Dachdeckerhandwerk sehr wohl weiß, dass im Kontakt mit monomer weichgemachten PVC-P-Bahnen aufgrund des Weichmacher-Konzentrationsgefälles erhebliche Weichmacheranteile durch Migration in den Hartschaum wandern mit der Folge, dass die Dachbahn an Weichmacher verarmt und somit versprödet.

Bezogen auf EVA-Bahnen kann demzufolge eine selektive Lokalisation der Phthalate nicht angenommen werden, denn sie verteilen sich annähernd gleichmäßig in der gesamten organischen Matrix. Demzufolge kann es selbst unter hypothetischer Annahme der von Ernst in den Raum gestellten Phthalatgehalte kein PVC-P innerhalb des Polymergemischs geben. Hinzu kommt, dass von Ernst überhaupt keine analytische Feststellung des Phthalatgehalts vorgenommen wurde, wie es im Rahmen dieser Publikation nunmehr unter Zuhilfenahme kalibrierter gaschromatografischer Analysen geschah. Demnach beträgt der Phthalatgehalt in den Rückstellmustern 7,4 Masse-% bzw. 7,5 Masse-%. Er liegt mithin bei gut der Hälfte des von Ernst für das »Rückstellmuster 2010« genannten Phthalatgehalts. Beim Rest der Extrakte handelt es sich schlicht um PVC-typische Stabilisatoren und aus den verwendeten Polymerkomponenten stammende monomere oder oligomere Bestandteile, die – wenn nur mit IR untersucht – durch die Absorptionsbanden der Phthalate mehrheitlich überdeckt werden.

Phthalatgehalte der nachgewiesenen Größenordnung dienen als Fließmittel beim Kalandrieren, haben also keine weichmachende Aufgabe. Sie könnten diese auch gar nicht mit Leben erfüllen, denn geringe Mengen an Phthalaten verbessern den mikrostrukturellen Ordnungsgrad der Makromoleküle und wirken damit antiweichmachend. Dieser Effekt ist seit den 80er Jahren bekannt und seitdem Bestandteil der einschlägigen Fachliteratur [z. B. 10, 11, 12]. Die antiweichmachende Effektivität ist demnach im Falle des hier verwendeten Phthalats besonders groß. Es beginnt erst ab Gehalten oberhalb von ca. 15 Masse-%, eine weichmachende Wirkung zu erzielen. Die Reißfestigkeit erreicht nach Durchlaufen des die größte hartmachende Wirkung kennzeichnenden Maximums erst bei gut 20 Masse-% den phthalatfreien Ausgangszustand und fällt dann mit zuneh-

memdem Phthalatgehalt stark ab. Demzufolge steht fest, dass Evalon keine Phthalat-»Weichmacher« enthält. Damit bestätigt sich die Angabe des Herstellers Alwitra in den Technischen Informationen über Evalon-Produkte, wonach deren Elastifizierung nicht mit Hilfe monomerer Weichmacher erzeugt wird. Die geringfügige Reduzierung am Phthalatgehalt der Asservate, die nach vier Jahren Liegezeit bei den beiden Objekten absolut 0,2 Masse-% bzw. 0,3 Masse-% beträgt, womit dann der Phthalatgehalt einheitlich bei 7,2 Masse-% liegt, hat demzufolge auch keine Versprödung zur Folge, sondern – wie bereits beschrieben – eine leichte Ermäßigung des E-Moduls und der Kältekontraktionskräfte, also durchaus erwünschte Effekte.

Die von Ernst seit Jahrzehnten eigeninitiativ angewandte und in seinen buchförmigen Eigenverlagsveröffentlichungen wiederholt aufgeführte Hydrolyse-Prüfung nach Ernst [18], die bei 95 % r. F. und 90°C über eine Zeitdauer von sieben Tagen durchgeführt wird, machen sich die Autoren nicht als für den Nachweis der Eignung von Dachbahnen sinnvolle Prüfmethode zu eigen. Dieser Test ist weder Bestandteil der in den einschlägigen Normen festgeschriebenen Anforderungen, noch ist er den allgemein anerkannten Regeln der Technik zugehörig. Zudem steht er im Gegensatz zu einer Grundforderung der DIN EN 1847, die die Bestimmung der Einwirkung von Flüssigchemikalien einschließlich Wasser auf Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen zum Inhalt hat, wo es in Abschnitt 8.1 u. a. heißt: »die Prüfung sollte möglichst repräsentativ bezüglich der Auswirkungen auf die Abdichtungsbahnen sein.« Als Anforderung für Dachbahnen fehlt es hier nach Überzeugung der Autoren an jeglicher Beanspruchungsrepräsentativität. Dennoch sei darauf hingewiesen, dass es laut einem den Autoren vorliegenden Prüfbericht der MPA Darmstadt vom Dezember 2014, die Hydrolyse-Prüfungen nach Ernst durchgeführt hat, im Falle von 1,5 mm dicken Evalon-Dachbahnen zu Veränderungen von maximal 7,0 % gekommen ist [19], also zu Veränderungen, die weit unter dem von Ernst berichteten Wert von 43 % liegen. Dies ist umso bemerkenswerter, als die MPA Darmstadt bei 95°C, also unter verschärften Bedingungen, geprüft hat; insofern ist davon auszugehen, dass ein streng nach Ernst ermittelter Wert noch signifikant unter den zitierten Veränderungen von maximal 7,0 % liegen würde.

Fest steht, dass die Evalon- und Evalon V-Dachbahnen seit Jahrzehnten sämtliche Anforderungen der einschlägigen Normen erfüllen und sich auf dem Dach langfristig außerordentlich bewährt haben. Ihre Verwendung entspricht damit uneingeschränkt den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Die berichteten Prüf- und Analysendaten geben keinerlei Anlass, die vom Erstautor auf der Basis von vom iBMB/MPA der TU Braunschweig an Asservaten mit knapp 20 Jahren Liegezeit auf verschiedenen Objekten in Deutschland prüftechnisch ermittelten Kennwerte gutachtlich vorgenommene Schätzung der Mindestlebensdauer von Evalon- und Evalon V-Dachbahnen von 30 Jahren [4] zu korrigieren. Insbesondere die von Ernst publizierten Erwägungen vermögen dem wegen fehlerhafter Interpretation von Analysendaten und der Verwendung von offenkundig ungeeigneten Rückstellmustern bzw. Referenzmaterial nichts Substantiiertes gegenüber zu stellen.

Damit bleibt auch die Ursache des Shattering-Zwischenfalls im Februar 2012 ungeklärt. In den von Ernst behaupteten Mischungs- und Eigenschaftsveränderungen liegen die Shattering-schäden eindeutig nicht begründet, da es diese Veränderungen nachweislich nicht gibt. Die Bitte des Erstautors im Arbeitsaus-

schuss »Dachabdichtungen« des DIN an die dort anwesenden Vertreter des Zentralverbandes des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH), von dessen Seite über das Ergebnis einer Sachverständigenbefragung zu Shatteringfällen unter Beteiligung von EVA-Bahnen berichtet worden war [20], die Befragungsunterlagen zwecks weiterführender Untersuchungen zur Verfügung zu stellen, beschieden die Vertreter des ZVDH leider abschlägig. Schadensbilder von stark geschatterten Dächern belegen ganz überwiegend, dass die Rissbildung von Durchdringungen der Dachbahn, von Lichtkuppelkranzecken, Ecken von aufragenden Wänden, aufgeschweißten Schutzplatten für Inspektionsgänge, mechanischen Befestigern u. v. a. m. ausgingen, also von Geometrien, wo es bei starken Temperaturänderungen zu Spannungsspitzen kommt, die dann eine lokale Überbeanspruchung der Bahn mit anschließender epitaktischer Rissfortpflanzung zur Folge haben. Die Überbeanspruchung bewegt sich dabei in erster Näherung auf dem Niveau von Kerbspannungen, bei deren Abschätzung man einen Kerbspannungsüberhöhungsfaktor von ca. 2,5 gegenüber den in der weiteren Umgebung herrschenden Spannungen zugrunde legt.

Bedenkt man, dass es sich bei den EVA-Bahnen Evalon und Evalon V nachgewiesenermaßen um ein äußerst langlebiges Dachbahnprodukt handelt, welches im Verlaufe von Jahrzehnten in einem einzigen schmalen Zeitintervall bezogen auf die Gesamtfläche der mit diesem Produkt verlegten Objekte in einem eher im Nano- als im Promillebereich anzusiedelnden Umfang Shatteringeffekte gezeitigt hat, so gilt es, die Bahn für den Frostbereich prophylaktisch zur Vermeidung einer Wiederkehr eines solchen Ereignisses weiterzuentwickeln, indem man die Kaltschlagzähigkeit der Bahn steigert. Entsprechende Mischungsmodifikationen durch Zusatz von Kaltschlagzähmodifiern wurden unter Mitwirkung der Rohstoffhersteller und unter prüftechnischer Begleitung und Begutachtung mehrerer Prüfanstalten von der Firma Alwitra bereits kurz nach Auftreten der Shatteringfälle vorgenommen. Hierüber hat der Erstautor den Arbeitsausschuss »Dachabdichtungen« im DIN ausführlich unter Verwendung der Untersuchungsergebnisse unterrichtet [21]. Nach Aussage der Firma Alwitra hat man diese wirksame und dennoch mengenmäßig geringfügige Modifikation der Evalon-Bahnen bereits im Jahr 2013 vorgenommen.

Auf die »Hinweise, Empfehlungen bzw. Forderungen« von Ernst am redaktionellen Schluss seiner Publikation eingehend, sind diese nach derzeitiger Kenntnislage betreffs der hier untersuchten EVA-Bahnen Evalon und Evalon V allesamt zu revidieren. Beide Philosophien, Dachbahnen aus Kunststoffen zu armieren oder im Falle einer so hohen und dauerhaften Verformbarkeit, wie sie den hier geprüften EVA-Bahnen zueigen ist, ohne eine solche Armierung herzustellen, haben Vor- und Nachteile, vor allem aber ihre Daseinsberechtigung. Hier ist der Planer aufgerufen zu entscheiden, welche Philosophie im Einzelfall die vorzuziehende ist. Eine Erhöhung der Dicke ist bei monomer weichgemachten PVC-P-Dachbahnen sinnvoll, weil hierdurch das Weichmacherreservoir vergrößert und die Eigenschaftsänderungen bei Weichmacherverlusten zeitlich verzögert werden – ein Schritt, den Normung und Produkthersteller von PVC-P-Dachbahnen seinerzeit nach dem verbreitet aufgetretenen Kaltsprödbbruchversagen aufgegriffen haben. Bei EVA-Bahnen ist ein solcher Schritt hingegen kontraproduktiv; exemplarisch seien hier die proportional mit einer Dickenerhöhung sich erhöhenden Kältekontraktionskräfte und die größere Brandlast genannt. Der Bauherr würde zudem keinen wirklichen Mehrwert erhalten,

sondern hätte vielmehr eine Reihe vermeidbarer Nachteile in Kauf zu nehmen. Die Lebensdauer von EVA-Bahnen liegt im Spitzenbereich der Dachbahnenpalette und ist damit so hoch, dass sie inzwischen angesichts anderer Dacherneuerungszwänge wie Verbesserung der Wärmedämmung, Aufbringung von Sonnenkollektoren, Gebäudeaufstockung zur Minimierung neu verbauten Grund und Bodens ohnehin oftmals gar nicht mehr zum Tragen kommt. Wenn man hier tatsächlich noch Verbesserungsbedarf sieht, wäre ein solcher vorrangig bei anderen Produkten anzustreben.

Würdigt man die wahre Leistungsfähigkeit der untersuchten EVA-Bahnen, so ist abschließend unter Verwendung der Wortwahl von Ernst zu diesem Punkt festzuhalten, dass Planer, die nach heutigem Kenntnisstand solche Bahnen ausschreiben, und Verarbeiter, die solche Bahnen verlegen, keineswegs gemäß Vorwurf von Ernst fahrlässig, schon gar nicht grob fahrlässig, sondern im Gegenteil äußerst verantwortungsvoll und umsichtig im Hinblick auf eine angestrebte Langlebigkeit des auszuführenden Flachdachs handeln, also unterm Strich ganz im Sinne des Bauherrn.

Literatur

- [1] Ernst, W.: Shattering; Flachdachschäden im Frühjahr 2012. Aufarbeitung der Schadensursachen. Der Bausachverständige 10 (2014) H. 3, S. 19 – 23.
- [2] Ernst, W.: Flat roof shatter damage in Germany in spring 2012 refurbishing the damage; requirements for the future. Vortrag Conference «Waterproof Membranes 2014». Bonn, 17.-19.11.2014.
- [3] Informationsforum ddD e.V. / Ernst, W.: Flachdach-Desaster. Ausgabe 27 – Winter 2013/14.
- [4] Großkurth, K. P.: Beurteilung von Dach- und Dichtungsbahnen aus EVA nach Langzeiteinsatz auf Flachdächern. Nicht öffentlich zugängliches Gutachten Nr. 20044 vom 26.08.2004.
- [5] Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) / MPA für das Bauwesen der Technischen Universität Braunschweig: Nicht öffentlich zugänglicher Untersuchungsbericht Nr. S004/1045 vom 30.03.2015.
- [6] United States Consumer Product Safety Commission; Directorate for Laboratory Sciences; Division of Chemistry, Gaithersburg, MD: Test Method: CPSC-CH-C1001-09.3; Standard Operating Procedure for Determination of Phthalates. April 1st, 2010.
- [7] Gerstel: Phthalate – Achtung, Weichmacher! Gerstel Aktuell (2013) 12, S. 20 – 23.
- [8] Goodman, W.: GC/MS Analysis of Phthalates in Children's Products. PerkinElmer Application Note (2009).
- [9] Nano GmbH, Physikalisch-chemisches Labor, 82544 Egling: Nicht öffentlich zugänglicher Untersuchungsbericht vom 03.03.2015.
- [10] Meyer, L.: Antiweichmacher und Antiweichmachung. In: Becker, G.W.; Braun, D.: Kunststoff-Handbuch, Band 2/1: Polyvinylchlorid. Carl Hanser Verlag, München, Wien (1986) S. 619 – 620.
- [11] Meyer, L.: Weichmacher. In: Gächter, R.; Müller, H. (Hrsg.): Taschenbuch der Kunststoff-Additive. 3. Ausgabe. Carl Hanser Verlag, München, Wien (1990) S. 344 – 345.
- [12] Elias, H. G.: Makromoleküle, Band 4: Anwendungen. 6. Auflage. Wiley VCH Verlag, Weinheim (2003) S. 409 – 411.
- [13] Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau in Zusammenarbeit mit dem Süddeutschen Kunststoff-Zentrum (SKZ): Bewitterungseinfluß auf Dach- und Dichtungsbahnen aus Kunststoff. Forschungsbericht F 1905. IRB Verlag, Stuttgart (1983).
- [14] Schoepe, R.; Pastuska, G.: Langzeitverhalten handelsüblicher Weich-PVC-Dachbahnen unter Kiesauflast. Kunststoffe 76 (1986) 3, S. 272 – 274.
- [15] Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM): Bauschäden infolge Änderung mechanischer Eigenschaften von PVC-Dachbahnen aufgrund eines Weichmacherverlustes. Forschungsbericht F 2045. IRB Verlag, Stuttgart (1986).
- [16] Lehmann, V.; Pastuska, G.: Bauschäden infolge Änderung mechanischer Eigenschaften von PVC-Dachbahnen aufgrund eines Weichmacherverlustes. Kurzberichte aus der Bauforschung (1986) Nr. 146, S. 595 – 601.
- [17] Schoepe, R.; Pastuska, G.: Alterungsverhalten von Dachbahnen aus Weich-PVC in Abhängigkeit von der Materialdicke. Vergleich bei Verlegung ohne Auflast und mit Kiesschüttung als Auflast. Kunststoffe 77 (1987) 7, S. 693 – 695.
- [18] Ernst, W.; Jauch, M.; Spaniol, W.; Burkhardt, M.: Test 6 – Hydrolyse. In: Fachbuchreihe Dachabdichtung Dachbegrünung Teil VI – Abdichtungen. Eigenverlag, Pullach (2009) S. 36 – 39.
- [19] Zentrum für Konstruktionswerkstoffe / Staatliche MPA Darmstadt: Hydrolyseprüfung an einer Dachbahn EVALON® 1,5 mm (grau) nach W. Ernst. Nicht öffentlich zugänglicher Prüfbericht K 14 1202.1 vom 02.12.2014.
- [20] Anders, Chr.: ZVDH-Umfrage: Schadensfälle im Flachdach, Shattering. Vortrag beim Arbeitsausschuss »Dachabdichtungen« im DIN am 14./15.10.2014 in Berlin.
- [21] DIN NA 005 Normenausschuss Bauwesen (NABau) NA005-02-11 AA Arbeitsausschuss Dachabdichtungen: Nicht öffentlich zugänglicher Bericht über die Sitzung des NA 005-02-11 AA am 01./02.07.2014 in Berlin. Dokument NA 005-02-11 AA N698 vom 10.07.2014.

Die Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Peter Großkurth

ehem. Leiter des Fachgebiets Struktur und Anwendung der Baustoffe am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) / MPA Abteilung Polymerwerkstoffe, Technische Universität Braunschweig

Mitglied u. a. im DIN NA 005 Normenausschuss Bauwesen (NABau), NA005-02-11 AA Arbeitsausschuss Dachabdichtungen

Von der IHK Braunschweig ö.b.u.v. Sachverständiger für Bautenschutz; Korrosion, Korrosionsschutz und Kunststoffe im Bauwesen; Kunststofftechnik; Asbest

Ingenieurbüro für Schadensanalyse, Bautenschutz und Bauwerksanierung

Siedlerweg 26

38126 Braunschweig

Tel. 0531/ 2085245

E-Mail: kp.grosskurth@tu-bs.de; www.ibmb.tu-braunschweig.de



Prof. Dr. Samuel Affolter

Professor an der Interstaatlichen Hochschule für Technik Buchs NTB, Schweiz

Leiter Bereich Polymeric am Institut für Mikro- und Nanotechnologie MNT

Werdenbergstrasse 4

CH-9471 Buchs

Tel. +41 81 755 3414

E-Mail: samuel.affolter@ntb.ch; www.polymeric.ch, www.ntb.ch

