› Wissen schafft Fortschritt®

» Baustoffe und Schäden werkstofftechnisch untersucht: Bleche, Folien, Farben, Fasern, Wasser, Rohre

› Technische Mitteilung 20160922

› Dr. Julius Nickl
Geschäftsführer
Experte für industrielle Prozesse & Produkte
julius.nickl@gwp.eu

GWP technische Mitteilung 20160920 Bauschäden REV05
X:\Organisation\Marketing\technische Mitteilungen\Bau 20160401 Bauschäden\GWP technische Mitteilung 20160920 Bauschäden REV08.docx

GWP Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH
Georg-Wimmer-Ring 25 ☎ +49 (0)8106 994 110 info@gwp.eu
D-85604 Zorneding/München 🖷 +49 (0)8106 994 111 www.gwp.eu

Inhalt

1. Thermoanalyse von sechs wärmereflektierenden Fassadenfarben auf Beton unter Bestrahlung ... 4
1.1. Experimentelles und Versuchsaufbau ... 4
1.2. Ergebnisse ... 5
2 Shattering von PVC-Dachfolien ... 6
2.1 Makroskopische Untersuchung (Dicke) ... 6
2.2 REM-Untersuchung ... 7
2.3 Zugversuche gemäß DIN EN 12311-2 ... 7
2.4 Handversuche zur Kaltbiegefestigkeit ... 8
2.5 GC-MS-Analyse ... 8
2.6 Ergebnis und Bewertung ... 8
3. Weiterreiß-Prüfungen an Polymerbitumen-Dachdichtungsbahn ... 9
3.1. Dicke nach DIN EN 1849-1 ... 9
3.2. Flächenbezogene Masse nach DIN EN1849-1 ... 9
3.3. Widerstand gegen Weiterreißen nach DIN EN 12310-1 ... 9
4. Enthaftung der Deckfolie von begehbaren Dachbahnen ... 11
4.1. Abzugskräfte innerhalb Dämmstoffpaket ... 11
4.2. Klebung Dachbahn-Kaschierung ... 12
4.3. Bewertung ... 13
5. Wassereindringprüfung an Interface Rohr/ Betonprüfkörper ... 15
5.1. Wassereindringprüfung ... 15
5.2. Ergebnis und Bewertung ... 16
6. Hagelschaden an Titanzink: Schadensanalyse von Brüchen entlang von Falzungen an Dachblechen ... 17
6.1. Makroskopische Dokumentation ... 17
6.2. Metallographische Untersuchungen ... 18
6.3. Härteprüfung nach Vickers ... 19
6.4. REM Untersuchung mit EDX-Elementanalyse ... 19
6.5. Nachstellversuch Schadenshergang ... 19
6.6. Ergebnis und Bewertung ... 20
7. Korrosion von Titanzink (Bildung von Weißrost) ... 21
7.1. Ausführungen ... 21
7.2. Quellen ... 23
8. Schadenanalyse zu verklebter Dachbahn aus Rhepanolfolie ... 24
8.1. Herstellung der Platten für die Zugversuche ... 24
8.2. Zugversuche in Anlehnung an ISO 527 ... 24
8.3. CAD-Modell und FEM-Simulation ... 25
8.4. Ergebnis und Bewertung ... 25
Zugversuche ... 25
8.5. CAD-Modell ... 26
9. Anwendungstechnische Untersuchungen zu Schneeeintritt an Dachsteinen ... 27
9.1. Experimenteller Aufbau ... 27

9.2. Mobiler Windkanal 27
9.2.1. Kunstschnee 28
9.3. Labor-Untersuchungen zum Schneeeintritt 28
9.4. 28
9.5. Untersuchungen zum Schneeeintritt vor Ort 29
Ergebnis 30
10. Weiteren Untersuchungen im Bereich Bau 31
10.1. Schadensanalyse an korrodierten Biertanks 31
10.2. Untersuchung von Asbest und KM-Fasern 31
10.3. Schadensanalyse an korrodierten Rohren 31
10.4. Abschätzung von Alter und weiterer Lebensdauer von Wasserrohren 31
10.5. Bestimmung des Fortschrittes von Spongiose an Guss-Wasserrohren 31
10.6. Umweltsimulation an Dachziegeln 31
10.7. Schadensanalyse eines gebrochenen Fensterbandes 31

1. Thermoanalyse von sechs wärmereflektierenden Fassadenfarben auf Beton unter Bestrahlung

Mehrere wärmereflektierende Fassadenanstriche sollten in einen unabhängigen Vergleich geprüft werden.

Es wurde unter standardisierten Bedingungen Temperaturmessungen mit beschichteten sowie unbeschichteten Betonkörpern durchgeführt.

1.1. Experimentelles und Versuchsaufbau

GWP hat ein kundenspezifisches Prüffeld aufgebaut und folgende Methode eingesetzt:
- Betonplatten 30 x 30 x 8 cm
- Anstrich wurde nach Herstellerangaben durchgeführt
- die Oberfläche wurde mittels eines Infrarotstrahlers so bestrahlt, dass die Oberfläche der unbehandelten Betonoberfläche ca. 55 °C betrug
- zentraler Abstand der Lampe von der Betonoberfläche 60 cm
- alle Messung bei Raumtemperatur 21 °C
- das Strahlungsmaximum liegt im nahen Infrarotbereich, zwischen 800 – 1800 nm
- die Temperaturmessungen erfolgten I) unmittelbar unter dem Anstrich, an der Kontaktfläche Anstrich/Beton, II) in 10 mm Tiefe und III) in 70 mm Tiefe
- die Oberflächentemperaturfühler sind in Einkerbungen direkt auf der Oberfläche per Spachtelmasse eingebettet

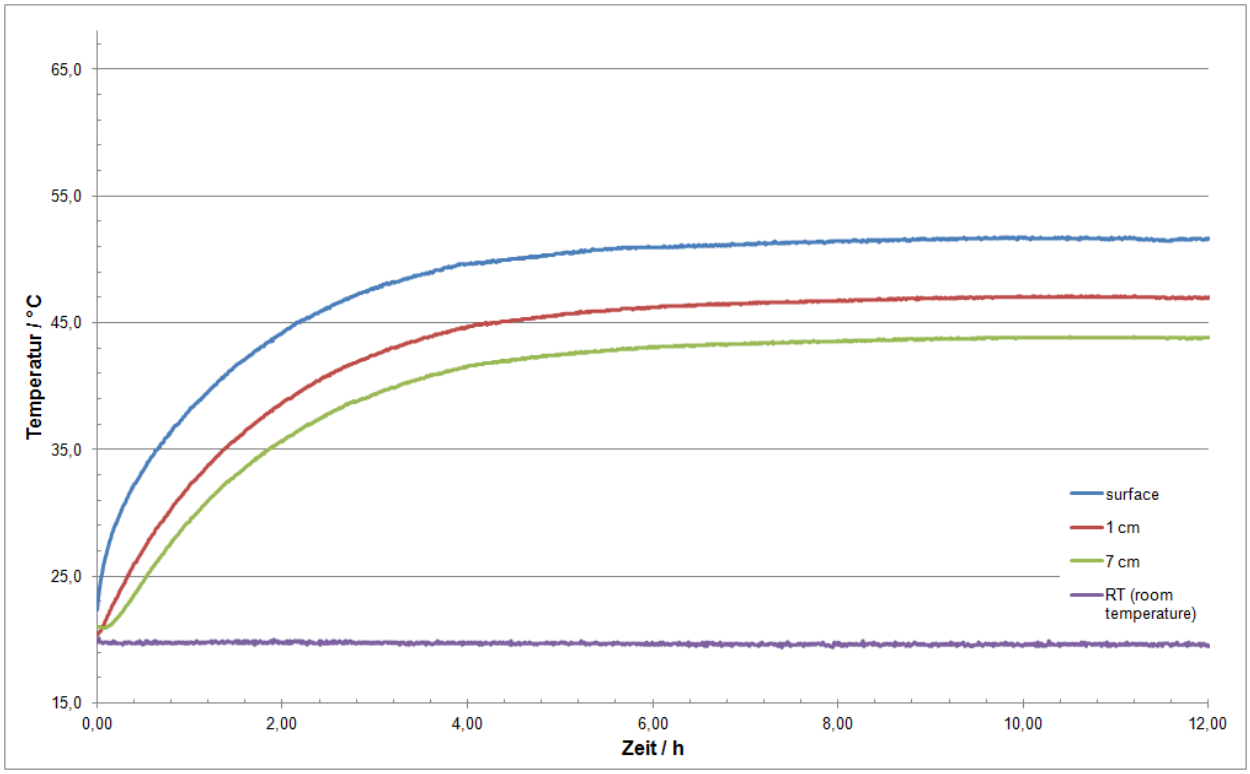


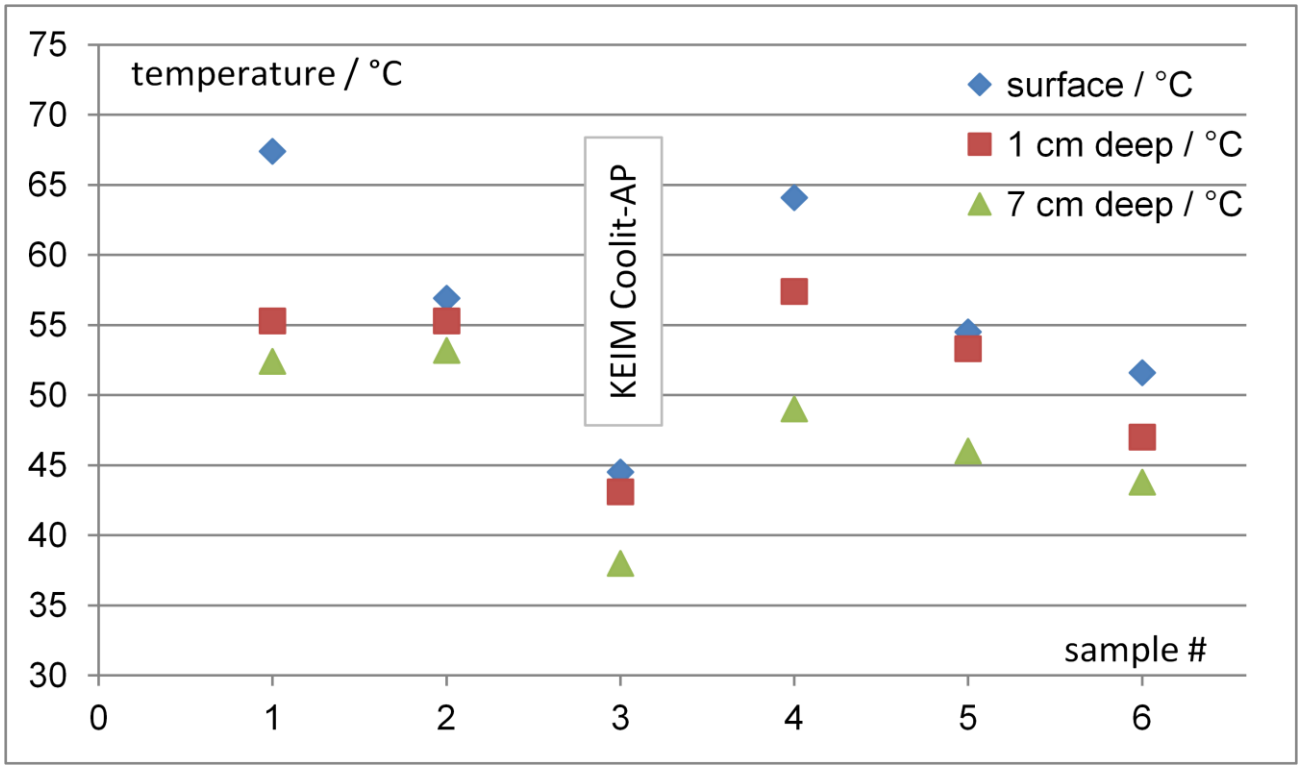
Abbildung 1: typische Aufwärmung bzw. Temperaturverlauf

NiCr/Ni-Thermoelemente
- Temperatur-Aufzeichnung alle 60 Sekunden via Logger
- die Messungen wurden jeweils über einen Zeitraum von 12 h Stunden durchgeführt.

1.2. Ergebnisse

Tabelle 1: Ergebnisse der Temperaturmessungen nach 12 h

Probe-Nr.	RT / °C	OF / °C	1 cm / °C	7 cm / °C	Bezeichnung
1	21,7	**53,6**	**52,7**	**50,6**	Betonplatten unbeschichtet als Referenz
2	20,4	**67,4**	**55,3**	**52,4**	Acryl-Fassadenfarbe
3	20,8	**56,9**	**55,3**	**53,2**	Acryl-Fassadenfarbe
4	20,8	**44,5**	**41,7**	**37,7**	Acryl-Fassadenfarbe
7	21,0	**64,1**	**57,4**	**42,4**	Acryl-Fassadenfarbe
8	20,7	**54,5**	**53,3**	**44,0**	Acryl-Fassadenfarbe
9	20,8	**51,6**	**47,0**	**43,8**	Acryl-Fassadenfarbe



2 Shattering von PVC-Dachfolien

Dachfolien wurden auf Materialfehler, die in Zusammenhang mit einem Hagelschlag, bzw. einem starken Temperaturwechsel, zu Rissen (Shattering) führen können, untersucht.

Auftragsgemäß soll geprüft werden ob Materialmängel zum Shattering der Folie geführt haben können.

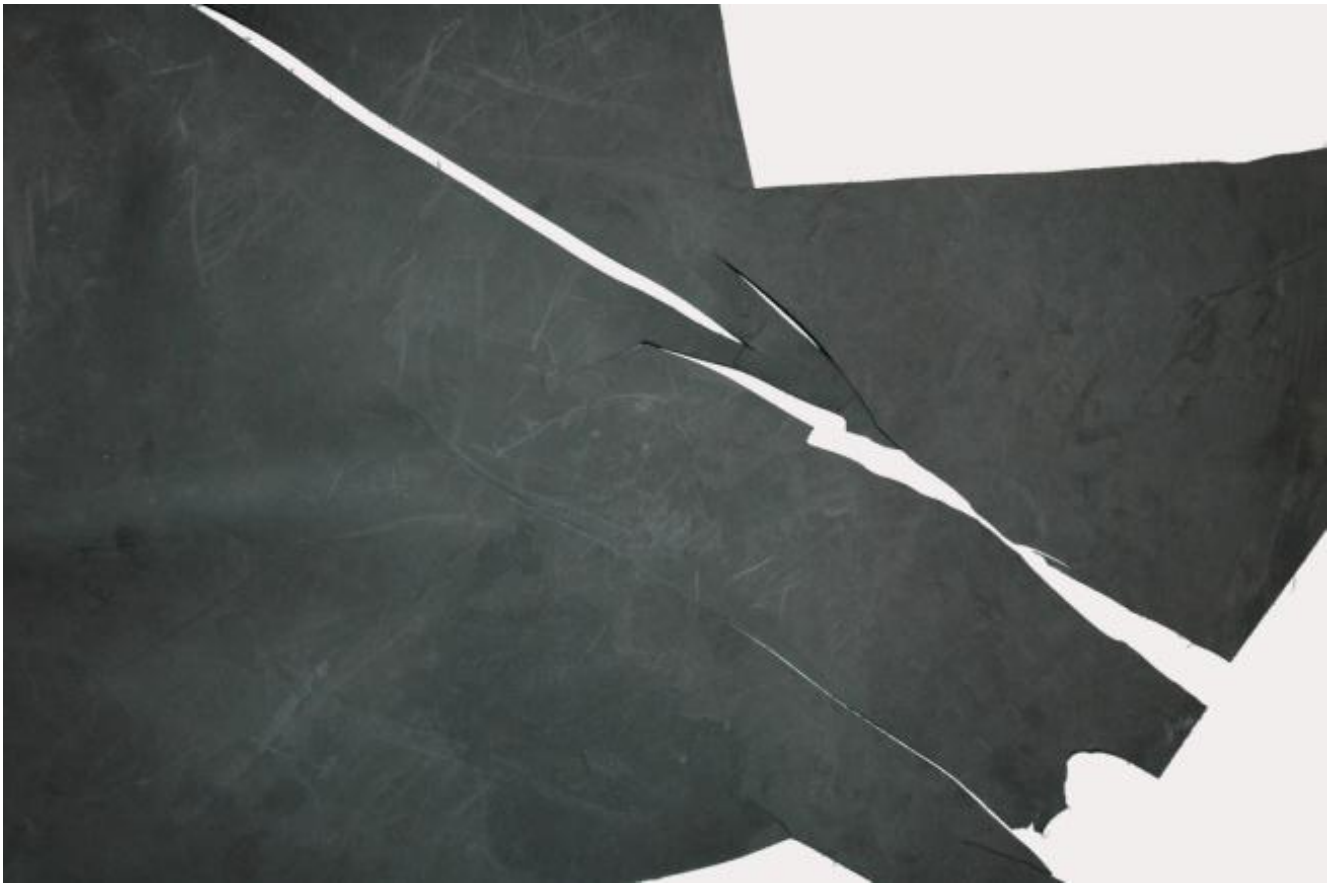


Abbildung 2: Probeneingang beschädigte Folie

2.1 Makroskopische Untersuchung (Dicke)

Tabelle 2: Ergebnisse der Dickenmessung im entspannten Zustand im Labor

Probe	Effektive Dicke / mm	Soll*: Effektive Dicke / mm
Dachfolie 1	1,30	1,5
Dachfolie 2	1,34	1,5

* gemäß technischem Datenblatt

2.2 REM-Untersuchung

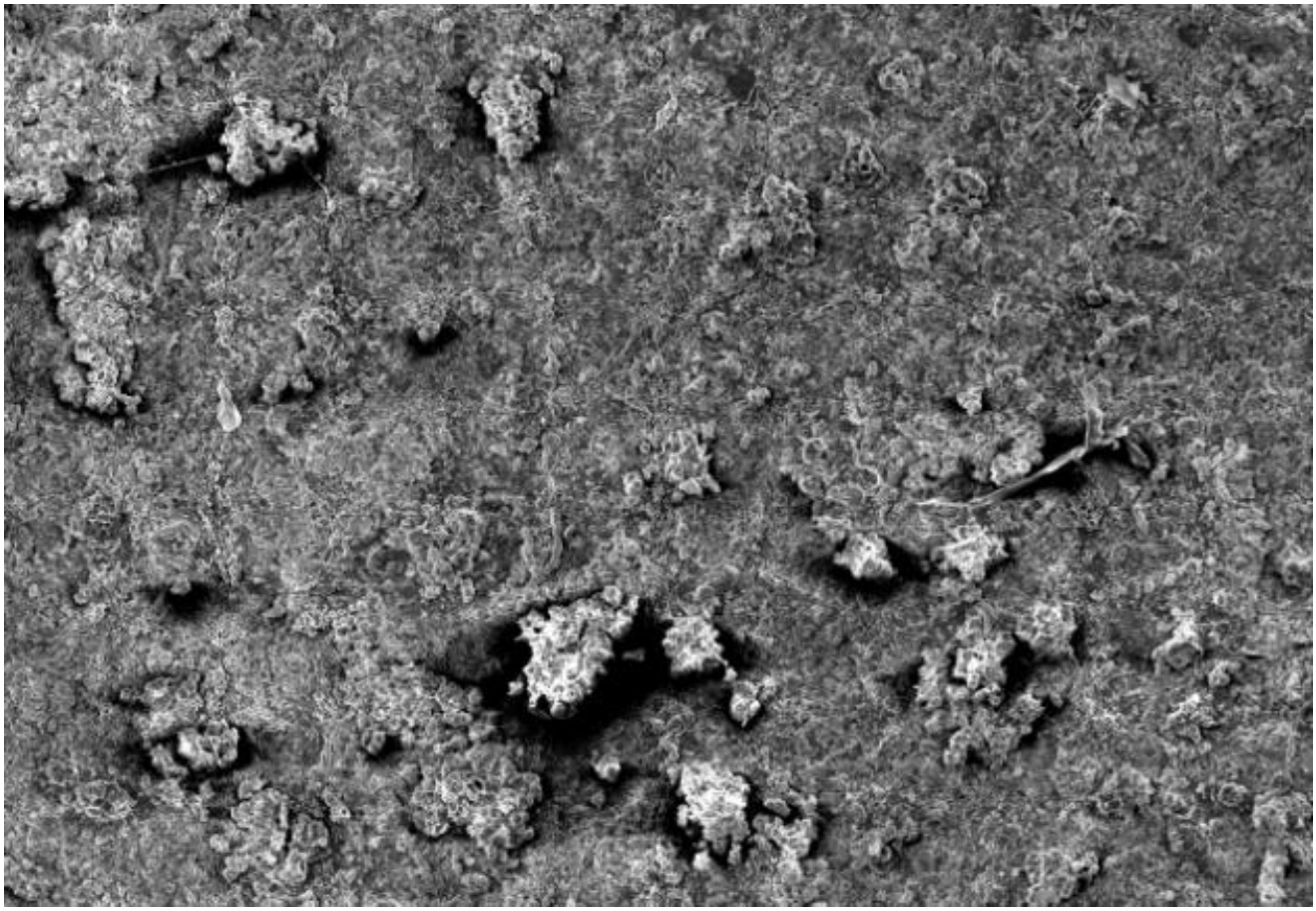


Abbildung 3: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Oberfläche

Zur Untersuchung wurden zwei Teilbereiche der Dachfolie 2 herausgeschnitten. Unter dem Stereomikroskop wurden an diesen Proben aussichtsreiche Positionen markiert und **danach im Rasterelektronenmikroskop mittels Sekundär- und Rückstreuelektronenkontrast (Element- und Topologischem Kontrast)** untersucht.

Es konnten keine Mikrorisse festgestellt werden.

2.3 Zugversuche gemäß DIN EN 12311-2

Parameter:

Prüfgengenstand: Rechteckige Probe Typ A mit 150 mm x 30 mm x 1,3 mm

Prüftemperatur: RT

Tabelle 3: Ergebnisse der Zugversuche

Probe	Zugfestigkeit	Soll*: Zugfestigkeit	Dehnung	Soll*: Dehnung
-	N/mm^2	N/mm^2	%	%
Dachfolie 1 (längs)	20,6	≥16	1258	≥300
Dachfolie 1 (längs)	21,0	≥16	1275	≥300
Dachfolie 1 (längs)	20,8	≥16	1332	≥300
Mittelwert	20,8	≥16	1288	≥300

2.4 Handversuche zur Kaltbiegefestigkeit

Im Labor wurden Proben auf -30 °C abgekühlt und gebogen: das Material verhält sich elastisch, es bilden sich keine Risse.

2.5 GC-MS-Analyse

Prüfparameter:

Vorgehen:	Untersuchung der Dachfolie mittels GCMS nach Flüssigextraktion
Gerät:	Shimadzu QP-2010 ultra; Säule Optima 1 MS, 20m
Detektor:	MS-Detektor; Full-Scan-Mode (Massen 33-500)
Einwaage:	200 mg
Extraktion:	Cyclohexan / Aceton

Tabelle 4: Ergebnisse der GC-MS-Analyse nach Flüssigextraktion in mg/kg

Peak*	Substanz	mg/kg
3	Carbonsäure (Hexadekansäure)	47
4	Triphenylphosphat (106-86-6)	140
5	Antioxidant BKF (119-47-1)	100
7	Diphenylisoalkyl(isoctyl?)phosphat	290
8	Diisoalkyl(isodecyl?)adipat	700
9	Cyclohexansäurealkylester	160
10	Aliphatische Kohlenwasserstoffe (Alkane)	200

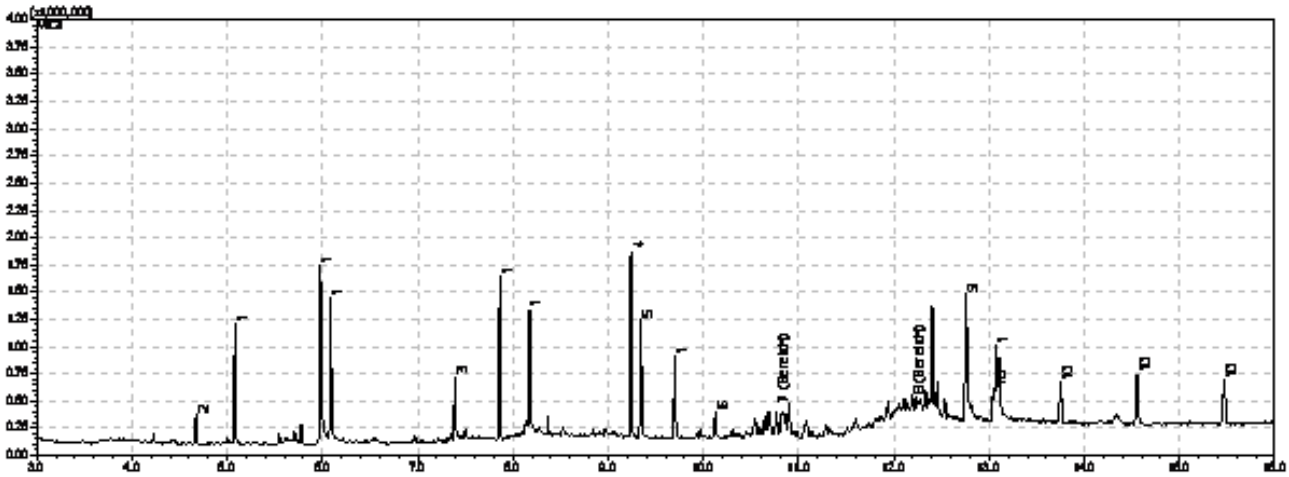


Abbildung 4: Spektrum der GC-MS-Analyse

2.6 Ergebnis und Bewertung

Die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen haben keine Hinweise auf Mikrorisse geliefert. Die Zugversuche ergaben Materialkennwerte, die die Anforderungen des technischen Datenblatts erfüllen.

Die Folien haben nicht die im technischen Datenblatt beschriebene Dicke von 1,5 mm, sondern unterschreiten diese um bis zu 20 %. Das „Nicht-Einhalten“ von in DIN Normen (hier DIN EN 1849-2) angegebenen Dimensionen und Maßen ist eine häufige Fehlerursache von werkstofftechnischen Produkten.

In der Dachfolie sind geringe Mengen Weichmacher auf Basis von Diisoalkyladipaten enthalten. Inwieweit diese Konzentrationen in Zusammenhang mit dem beobachteten

Shattering stehen wird nicht bewertet. Die Phosphate werden üblicherweise als Flammschutzmittel zugesetzt. Spuren von DEHP können im Laufe der Zeit als Kontamination auf die Folie gelangt sein.

3. Weiterreiß-Prüfungen an Polymerbitumen-Dachdichtungsbahn

An einer Bitumendachbahn sollten die Dicke, die flächenbezogene Masse und der Widerstand gegen Weiterreißen bestimmt werden. Es wurden Prüfungen entsprechend den Normen DIN EN 1849-1 und DIN EN 12310-1 durchgeführt. Alle Proben wurden für mind. 20 Stunden bei 23°C und 50% Luftfeuchtigkeit ausgelagert.

3.1. Dicke nach DIN EN 1849-1

Für die Bestimmung der Dicke wurde ein Streifen über die gesamte Breite der Dachbahn abgeschnitten. Die 10 Messstellen sind über die gesamte Breite des Streifens verteilt, ausgenommen sind jeweils 100 mm am Rand der Dachbahn.

Die Dicke der Dachbahn wurde mit einer Messuhr mit einer Genauigkeit von 0,01 mm gemessen. Es wurde der Mittelwert aus 10 Messungen ermittelt.

Tabelle 2: Ergebnisse der Dickenbestimmung in mm

GWP #	Dicke (Mittelwert aus 10 Messungen)	Sollwert
1	3,18	>3,5

3.2. Flächenbezogene Masse nach DIN EN1849-1

Für die Bestimmung der flächenbezogenen Masse wurden normgerecht 3 Teilproben vermessen. Aus einem 0,4 m langen Abschnitt über die gesamte Breite der Probe wurden drei quadratische Prüfkörper mit einer Fläche von je 100 mm² ausgeschnitten. Ein Prüfkörper wurde aus der Mitte des Prüfausschnittes ausgeschnitten. Die beiden anderen Prüfkörper wurden entlang einer Diagonale der Probe symmetrisch zum ersten ausgeschnitten, wobei ein Abstand von etwa 100 mm zwischen Prüfkörperaußenkante und der Bahnenkante eingehalten wurde.

Tabelle 3: flächenbezogene Masse

GWP #	flächenbezogenen Masse	Sollwert
1	3573 g/m²	>3900 g/m²

3.3. Widerstand gegen Weiterreißen nach DIN EN 12310-1

Für die Bestimmung des Widerstandes gegen Weiterreißen wurden 5 Teilproben entnommen und gemessen. Die Proben haben Abmessungen von 100x200 mm und sind mindestens 100 mm vom Bahnrand entfernt.

Der Prüfkörper wurde zwischen die Schenkel eines passend anliegenden Haltebügels eingesetzt. Dann wurde ein angespitzter Nagel mit einem Schaft von 2,5 mm Durchmesser durch die Aufnahmeöffnungen in den Bügelschenkeln durchstoßen, so dass der Nagel den Prüfkörper in einem Abstand von 50 mm vom freien Ende innerhalb des Bügels durchdringt. Der Abstand zwischen der oberen Spannklemme und dem Nagel betrug 100 mm.
Die Prüfvorrichtung wurde mit dem Bügel in die Spannklemme und mit dem Prüfkörperende in die andere Spannklemme der Zugprüfmaschine eingesetzt. Mit der Zugprüfmaschine wird der Nagelschaft durch die Fläche des Prüfmaterials in Richtung des freien Endes des Prüfkörpers gezogen.

Die Prüfung wird bei 23 °C mit einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit der Spannklemmen von 100 mm/min ausgeführt. Die erforderliche Zugkraft, um den Prüfkörper gegen den Nagelschaft zu zerreißen, wurde stetig aufgezeichnet.

Abbildung 5

Abbildung 6

Tabelle 4: Widerstand gegen Weiterreißen

GWP #		Widerstand gegen Weiterreißen	Sollwert
1	Probe 1	313 N	
	Probe 2	271 N	
	Probe 3	297 N	
	Probe 4	290 N	
	Probe 5	222 N	
	Mittelwert	278,6 N	>260 N

Probe 1 bis 4 zeigten beim Zugversuch keinen senkrechten Riss, sondern faltete sich die Probe unter dem Nagel auf und riss in waagerechter Richtung auf (Bild 1 und 2).

4. Enthaftung der Deckfolie von begehbaren Dachbahnen

Von einem schadhaften Dach wurden Proben entnommen; Ziel der werkstofftechnischen Untersuchungen und Bewertung ist die Ursache der Ablösung innerhalb der Dämmstoffmatte zu finden.

Das vorgefundene Schadensbild ist eine flächenhafte Delaminierung der Dämmmaterialschicht nahe der Kaschierung. Die Klebung Dachbahn / Dämmstoffvlies ist unzerstört, an einigen Stellen fehlerhaft.

Zusätzlich wurde die Klebung werkstofftechnisch charakterisiert und bewertet; besondere Aufmerksamkeit sollte auf die Auswirkung einer ein- bzw. zweimalige Klebstoffauftragung gelegt werden.

4.1. Abzugskräfte innerhalb Dämmstoffpaket

Hier wird nur die Festigkeit, oder Kohäsion im klebetechnischen Sinne, der Dämmstoffschicht gegen Abzug untersucht. Die zugesicherte Zugfestigkeit des Dämmpaketes senkrecht zur Plattenebene – vereinfacht könnte man „Abreissfestigkeit“ sagen – beträgt gemäß Datenblatt „TR 11“, das entspricht einer Spannung von $\sigma_{mt} \geq 110$ hPa. Zur praktischen Verdeutlichung: das entspricht rund 0,11 bar, 110 g pro cm^2 oder 1,1 Tonnen pro qm.

Die Prüfungen wurden gemäß DIN EN 1607 „Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung der Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene; Deutsche Fassung EN 1607:2013“ im Werkstofflabor der Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH durchgeführt.

Teilproben wurden an den Proben 1 und 2 vermessen, welche komplette, unbeschädigte Pakete Dachbahn + Verklebung + Dämmstoff darstellen.

Zur Prüfungsvorbereitung wurden die Proben auf Holzplatten – ersetzen die Betonauflage im Feld - flächig verklebt. Die Maße sind auf 0,5 mm bestimmt, abweichend der Forderung der Norm EN 12085 die Maße auf ± 0,5 % zu bestimmen.

Tabelle: Messwerte Abzugkraft innerhalb der Dämmstoffpakete

GWP #	Bezeichnung der Lage	Maße / mm	errechnete Fläche / cm^2	ermittelte Maximalkraft / N	σ errechnete Spannung / hPa	Bemerkung
1	Ausschnitt rechts oben	100 x 100	100	55	55	Bruch auf Hälfte der Höhe
2	Ausschnitt rechts oben	100 x 100	100	70	70	Bruch nahe Klebung
3	Ausschnitt links unten	100 x 100	100	58	59	Bruch auf Hälfte der Höhe
	-	-	100	61	61	Mittelwerte

Die Abzugsversuche zeigen an keinen der durchgeführten Abreissversuche die spezifizierte Spannung.

Die Abreissspannung ist durchgängig ca. 36 – 50 % geringer als spezifiziert: ca. 55 bis 70 N statt 110 N bei einer 100 cm^2 großen Probe (10 cm Kantenläge).

Bruchcharakterisierung: es delaminieren die Schichten innerhalb des Dämmstoffpakets meist in der Nähe des Vlieses, vereinzelt treten auch schräge Brüche auf, die durch fast die gesamte Höhe des Dämmstoffpaketes reichen.

4.2. Klebung Dachbahn-Kaschierung

Tabelle 5 zeigt mögliche Fehlerarten der Klebung und den Anteil an dem er zu beobachten ist. Der Flächenanteil wurde dabei für alle Proben einzeln bestimmt und die erhaltenen Werte in Tabelle 3 aufsummiert und gemittelt.

Tabelle 5: mögliche Fehler im Paket Bahn/Klebung/Dämmstoff

Fehler Merkmal	Auftreten und beobachtete Farbe	Interpretation	Flächenanteil in der Dachfläche [%]
1.1	Dachbahnvlies „weiß“	kein Klebstoffaufrag oder fehlender Anpressdruck	8
1.2	Dachbahnvlies „blau“	benetzt, fehlender Anpressdruck	4
1.3	Dachbahnvlies „Dämmstoff“	i.O. Verklebung, Bruch des Dämmstoffpakets	88
2.1	Dämmstoffvlies „blau“ + Dachbahnvlies „weiß“	benetzt, fehlender Anpressdruck	2
2.2	Dämmstoffvlies „weiß“	kein Klebstoffauftrag	0
2.3	Dämmstoffvlies „weiß/gelb“	kein Klebstoff an der Oberfläche, Kleber versickert	3
3.1	Dämmstoffpaket Kern „blau“	Eingesickerter Klebstoff	44
3.2	Dämmstoffpaket Kern „Dämmstoff“	Ursprüngliches Dämmstoffpaket	56

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt die tabellarisch aufgeführten Fehler anhand von Bildern der schadhaften Proben. In der Darstellung der weiß/gelben Dämmstoffvliesoberfläche (Abb. mitte) ist dabei zu erkennen, dass dort kein Klebstoff vorliegt. Dieser ist nicht, wie bei der i.O.-Verklebung, an der Oberfläche der Vlieskaschierung des Dämmstoffs verblieben ist, sondern durch diese hindurch in die Mineralwollschicht gesickert ist (Abb. unten).

Zusammenfassend zeigen sich bei der Klebung zwei Fehlerbilder.

In dem Bereich, in dem die Vlieskaschierung der Dachbahn weiß vorliegt, erfolgte entweder kein Klebstoffauftrag oder kein ausreichender Andruck, wobei die Auswertung des Dämmstoffs keine Stelle zeigt, auf der kein Klebstoff aufgetragen wurde.

Annahme ein Klebstoffauftrag: In dem Bereich, in dem die Vlieskaschierung der Dachbahn blau ist, ist der Klebstoffauftrag vollständig in die Dämmschicht eingesickert. Dadurch konnte der Klebstoff nicht mehr an diesem anhaften und klebungsrelevanter Klebstoff wurde vollständig von der Vliesschicht der Dachbahn aufgesogen ohne eine Haftung zu dem Dämmstoffvlies herzustellen.

Annahme 2 x Klebstoffauftrag mit Ablüftung dazwischen: In dem Bereich, in dem die Vlieskaschierung der Dachbahn blau ist, ist der erste Klebstoffauftrag vollständig in die

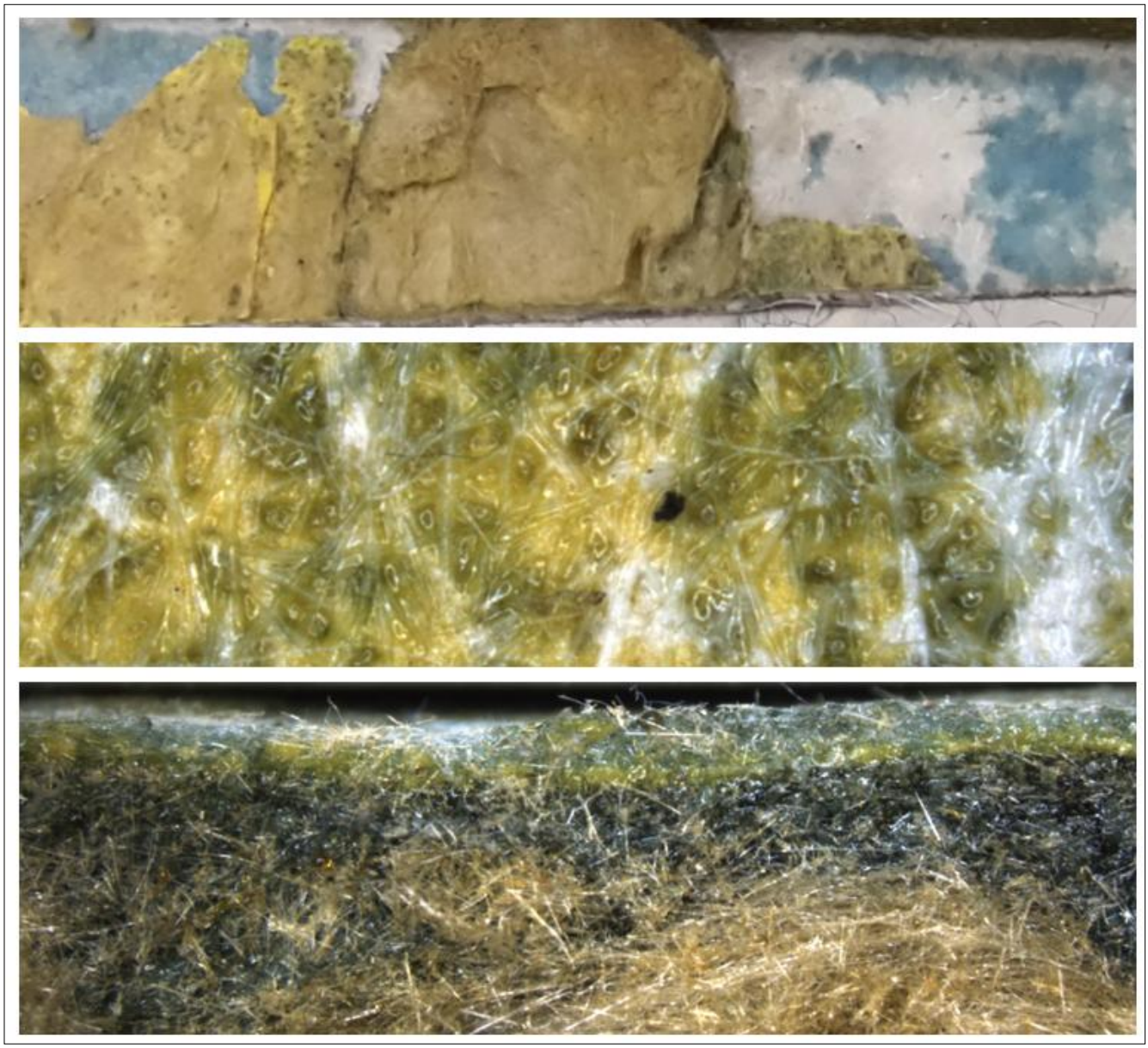


Abbildung 7: Fehlerbilder: oben: Fehlermerkmale 1.1 - 1.3, mitte: Fehlerbild 2.3, unten: Fehlerbild: 3.1

Dämmschicht eingesickert. Dadurch konnte der Klebstoff aus dem zweiten Auftrag nicht mehr an diesem anhaften und wurde vollständig von der Vliesschicht der Dachbahn aufgesogen, ohne eine Haftung zu dem Dämmstoffvlies herzustellen.

Bei der i.O.-Klebung ist der Klebstoff des ersten oder zweiten Auftrags nicht durch die Vlieskaschierung des Dämmstoffvlieses gesickert.

4.3. Bewertung

Das vorgefundene Schadensbild ist eine flächenhafte Delaminierung der Dämmungsmaterialschicht nahe der Kaschierung, ohne Dachbahnzerstörung. Auch die Klebung für sich ist unzerstört (Kohäsionsbruch der Dämmung, kein Adhäsionsbruch der Klebung), jedoch an einigen Stellen fehlerhaft.

Die Bewertung der Ergebnisse des „Abreissversuches“ und der Vergleich mit den Herstellerspezifikation „TR11“ ergibt eine um rund 36 %, bis zu 50 % geringere „Abreissfestigkeit“ des Dämmstoffpakets als spezifiziert. Das Dämmstoffpaket ist aus

Schichten von ca. einigen mm Stärke aufgebaut, die Verbindungen der Schichten des Dämmstoffpaketes untereinander delaminieren.

Betrachtet man die abgelösten, umgedrehten Dachbahnen, so erkennt man großflächig ein gleichmäßiges Bild mit einer einige cm starke, anhaftende Dämmstoffschicht (mit wenigen Klebefehlern). Hier wird der Dämmstoff nicht auf flächiges, senkrechtes Abziehen belastet wie in den „Abreissfestigkeittests“ oben, sondern auf Schälen. Und vermutlich wird das Dämmstoffpaket nach einem initiierenden Fehler auf Schälen belastet und das ermöglicht eine großflächige Ablösung.

Zur Verklebung Dachbahn mit dem Dämmstoffpaket: ca. 12 % der Klebung ist fehlerhaft. Klebstoff wurde vollflächig gefunden, wobei sich Bahn und Vlies teilweise nicht verbanden. Eine Kombination der Fehler des Dämmstoffpakets und der Klebung ergibt, dass auf ca. 88 % der zerstörten Fläche das Dämmstoffpaket aufgrund einer zu geringen Abreissfestigkeit gerissen ist. Auf ca. 12 % der Fläche ist die Verklebung fehlerhaft, wobei entweder die Dachbahn nicht ausreichend angedrückt wurde, oder zum Zeitpunkt des (ev. zweiten) Klebstoffauftrags, der Klebstoff (der ev. ersten Auftragung) vollständig durch das Dämmstoffvlies hindurch gesickert ist und der Klebstoff (der ev. zweiten Auftragung) somit keine Haftung erzielen konnte.

5. Wassereindringprüfung an Interface Rohr/ Betonprüfkörper

Die Beschichtung ist das zentrale Verbindungsglied zwischen Beton und Kunststoffrohr. Die dauerhafte Dichtigkeit soll anhand eines eigens entwickelten verkürzten Lebensdauertests geprüft werden. Zur Simulation wird das Interface mit einem definierten Wasserdruck über eine bestimmte Zeit beaufschlagt.

Abbildung 8: Betonkörper geprüft

5.1. Wassereindringprüfung

Für diese Untersuchung wurden die Oberfläche der Betonsteine im Bereich des Interfaces Kunststoffrohr / Beschichtung / Beton mit fluoreszierendem Leitungswasser[1] und ca. 2 bar bzw. 2,5 bar (Probe #2) Druck über 72 h bei Raumtemperatur beaufschlagt.

[1] Uranin- bzw. Fluoreszein-Dotierung

Zur Durchführung des Versuches wurden die beiden Stirnseiten des Betonstückes mit Platten und O-Ringen abgedichtet und senkrecht aufgestellt. Der untere Raum zwischen Beton / Platte / Rohr und das Rohr zu 2/3 Höhe wurde mit Wasser aufgefüllt. Anschließend wurde die Wasseroberfläche mit konstantem Luftdruck von 2 bzw. 2,5 bar bar über 72h beaufschlagt. Nach Ende des Versuches wurde das Betonstück mit einer Trennscheibe der Länge nach eingeschnitten und anschließend mit einem Meißel aufgebrochen.

Die Wasserspuren in den freigelegten Interfaces wurden durch großflächige UV-Beleuchtung grün fluoreszierend dargestellt.

5.2. Ergebnis und Bewertung

Ein Eindringen von Wasser zwischen Rohr und Beton kann nicht nachgewiesen werden. Die Wasserspuren sind im Inneren der Betonstücke zu finden. Sie rühren vermutlich von der Porosität des verwendeten Beton her. Auf den Bildern zeigt sich deshalb das Eindringen von Wasser stark unterschiedlich (Bild 5 - 12). Ein flächiges Eindringen von Wasser durch den Beton konnte dennoch nicht festgestellt werden. Die mit Wasserdruck beaufschlagten Randbereiche zwischen Rohr und Beton sind stets frei von Wasser (Bild6, 9-11).

Andere Stellen weisen punktartige Wasserflächen auf, die von den Fehlstellen im Beton herrühren (Bild6, 9, 10, 12). Der Eindringweg des Wassers in den Beton lässt sich jedoch nicht genau feststellen.

Zum anderen findet sich nach dem Herausreißen des Rohres aus dem Beton die Beschichtung sowohl auf dem Rohr als auch auf dem Beton wieder. Das bedeutet eine gute Haftung der Beschichtung zu beiden Werkstoffen. Auch Probe 2 weist ähnlich gute Haftung der Beschichtung zwischen Rohr und Beton auf.

6. Hagelschaden an Titanzink: Schadensanalyse von Brüchen entlang von Falzungen an Dachblechen

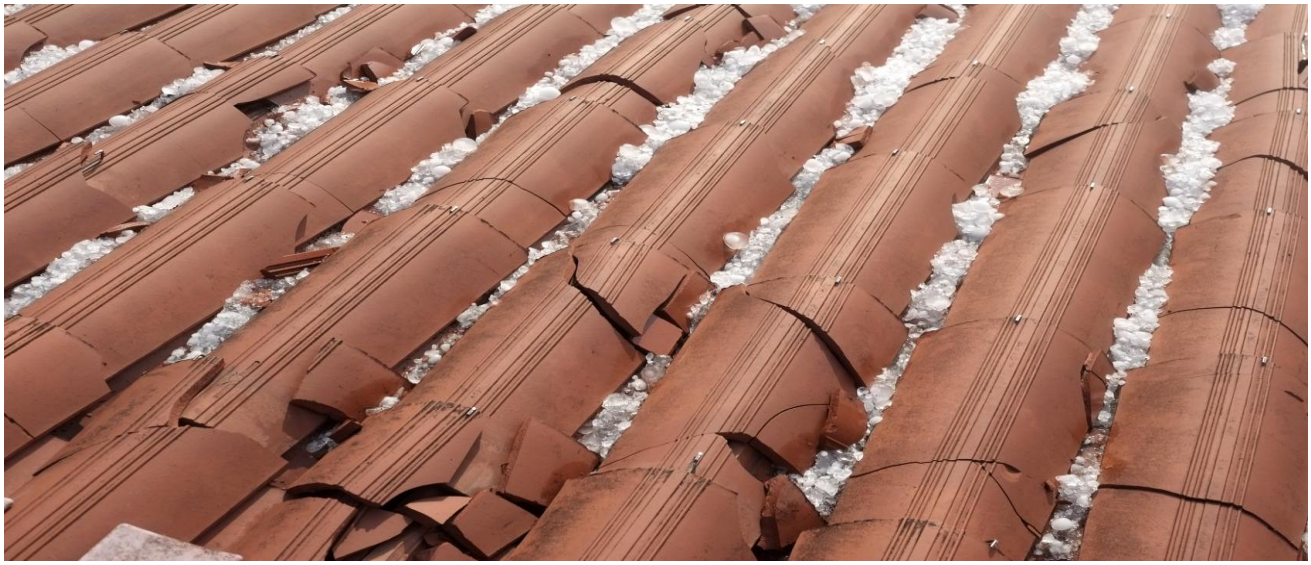


Abbildung 9: typischer Hagelschaden

Bei dem vorliegenden Schadensfall wurden an einem Titanzink-Blechdach mehrere Risse im Bereich der Falze festgestellt. Zusätzlich ist ein deutlicher Hagelschaden auf der gesamten Probenfläche erkennbar. Unter anderem zeigen sich Einschläge mittig der Risse. Die Ausbeulungen der Bleche, sowie Kundenangaben lassen auf Hagelkörner einer maximalen Dimension von bis zu 30 mm schließen.

6.1. Makroskopische Dokumentation

Abbildung 10: Makroskopie des Risses

Bei der makroskopischen Betrachtung von Dachausschnitten konnten mehrere Risse, sowie Hageleinschläge erkannt werden. Die durch den Hagel entstandenen Einbeulungen des Bleches liegen teilweise mittig der Risse.

6.2. Metallographische Untersuchungen

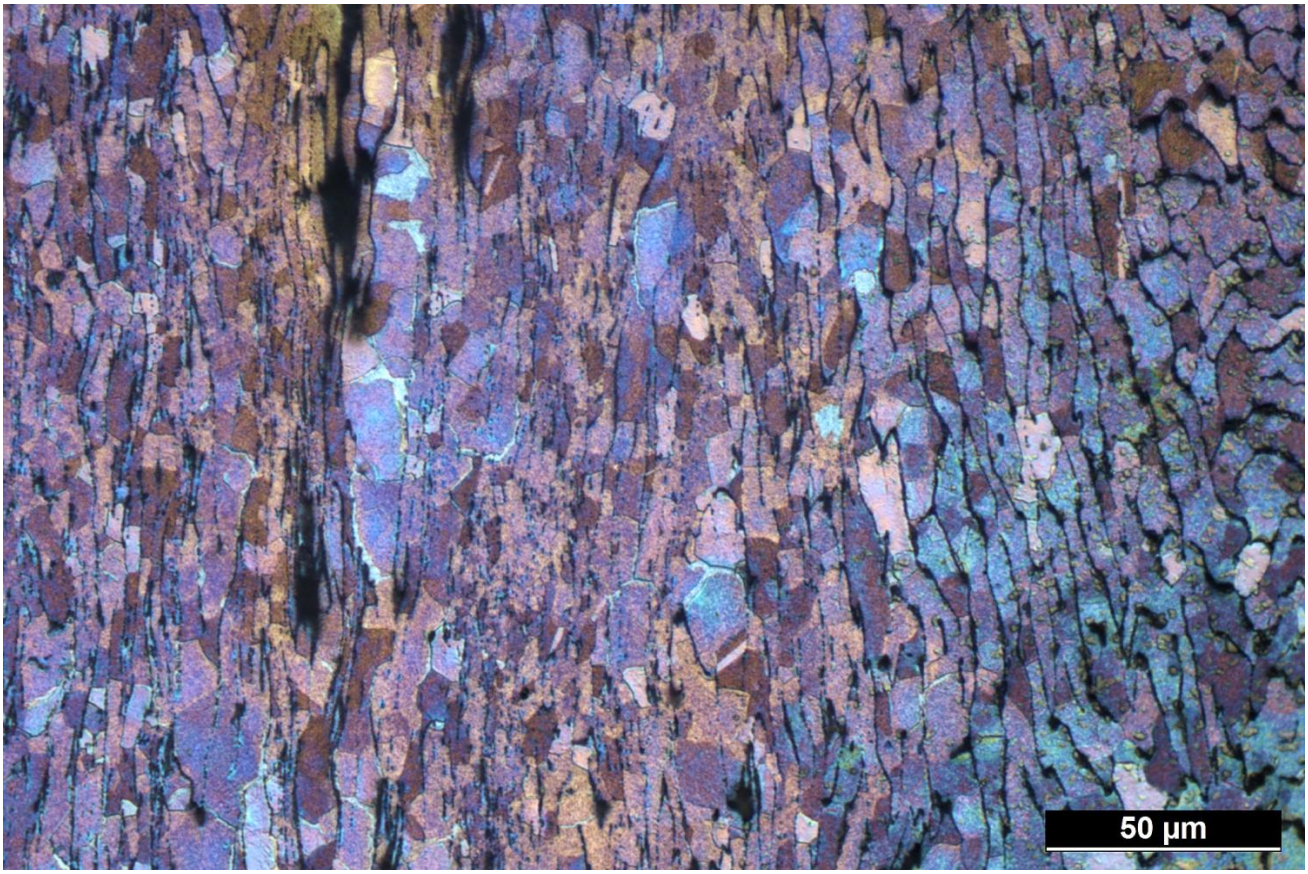


Abbildung 12: Gefügeätzung

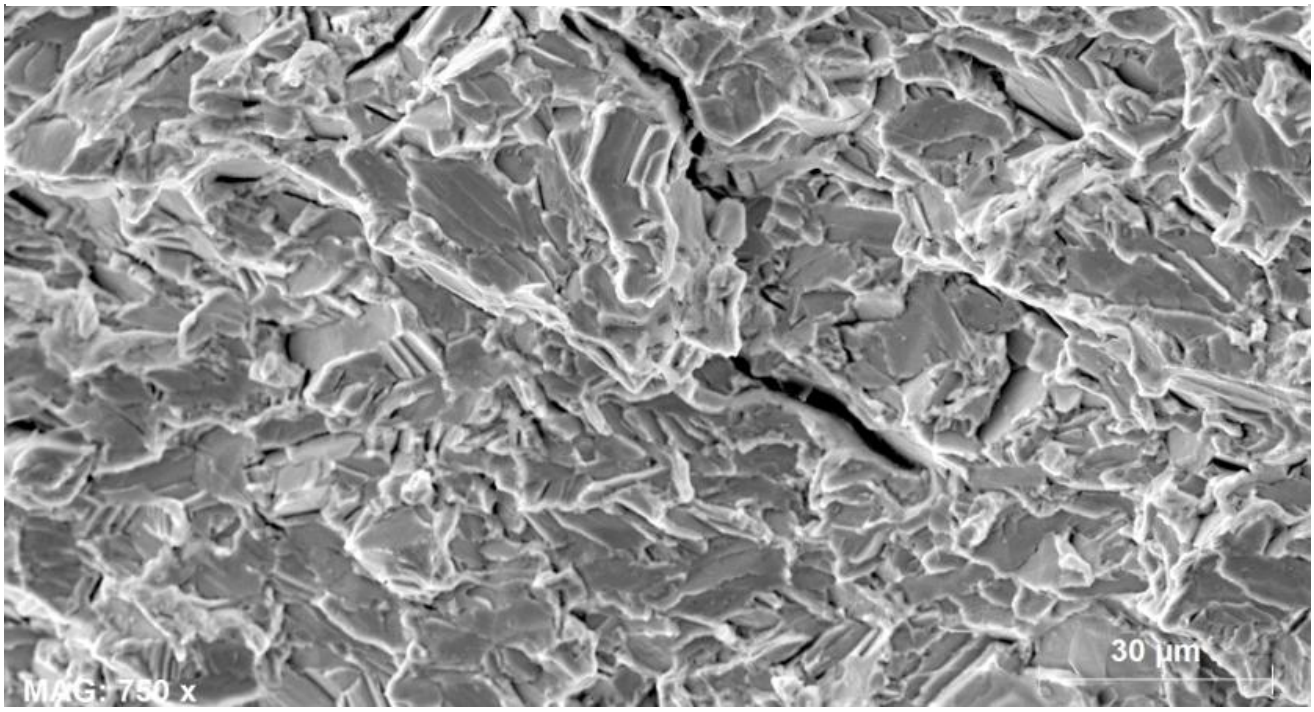


Abbildung 11: Bruchfläche unter dem Elektronenmikroskop

Für die metallographische Untersuchung wurden Schliffproben entnommen. Die Kontrastierung der Proben erfolgte mit einer wässrigen Ätzlösung nach Palmerton bestehend aus CrO_3 und Natriumsulfat Na_2SO_4.

Bei den untersuchten Proben lassen sich stellenweise im Bereich der Falzverjüngungen und eine Stufe im Bereich des Biegeradius feststellen. Eine größere mechanische Vorschädigung (z.B. eingebrachter Kerb) sowie eine den Rissen vorausgegangene Schwächung durch Korrosion konnten nicht festgestellt werden.

6.3. Härteprüfung nach Vickers

Die durchgeführten Härteprüfung nach Vickers, entsprechend DIN EN ISO 6507-1:2006-03, wurde an den angefertigten Schliffen durchgeführt. Hierbei konnten die Einhaltung der Werkstoffspezifikationen, sowie keine lokalen Verfestigungen festgesellt werden.

6.4. REM Untersuchung mit EDX-Elementanalyse

Für die Begutachtung der mikrofraktographischen Merkmale wurden ein Riss im Bereich eines Hageleinschlages herangezogen. Zwei frisch erzeugte Laborbruchfläche (RT / <0°) wurden als Referenz-Gewaltbrüche ausgewertet. Der Laborgewaltbruch bei Raumtemperatur zeigt die Kennzeichen eines interkristallinen Spaltbruchs mit stellenweise geöffneten Korngrenzen. Auffällig sind feine, zeilig angeordnete Ausscheidungen auf den Kornflächen. In der Bruchflächen Mitte befindet sich ein Nebenriss, der senkrecht zur Bruchfläche verläuft. Beide untersuchten Risse zeigen ein vergleichbares Erscheinungsbild. Die Bruchflächen sind überzogen mit Korrosionsmulden und Korrosionsprodukten. Stellenweise sind glatte Spaltflächen zu erkennen. Der bei tiefen Temperaturen nachgestellte Laborversuch simuliert eine Schädigung bei Kälte. Die Bruchfläche zeigt ebenfalls ein sprödes Bruchverhalten in Form von interkristallinen Spaltflächen und geöffneten Korngrenzen.

6.5. Nachstellversuch Schadenshergang

Für eine realitätsnahe Nachstellung des Schadenhergangs wurden mehrerer Versuche durchgeführt. Hierfür wurden Blechabschnitte eingespannt und bei verschiedenen Temperaturen schlagartig beansprucht. Erste Vorversuche mittels einfacher Schlagbelastung (Hammerschläge) zeigte bei Raumtemperatur trotz mehrmaliger Krafteinwirkungen kein sprödes Verhalten oder die Ausbildung von Rissen. Im Anschluss wurde für die Herstellung eines Laborgewaltbruches ein Probenabschnitt mit flüssigem Stickstoff gekühlt und ebenfalls schlagartig belastet. Hierbei zeigte sich, dass bereits geringe Kräfte zu Rissen führen.

Hagelbeschuss

(HAGELSKALA - MARCO KASCHUBA - HAIL RESEARCH LABORATORY)
Laut Intensitätsskala [5] liegt die Aufprallenergie eines Hagelkornes, Durchmesser 25 mm bei 1,8 Joule und Durchmesser 30 mm bei 3,6 Joule. Für den Nachstellversuch wurden Stahlkugeln mit der Masse 127 g aus einer Höhe von 1,75 m auf die Proben fallen gelassen, dies entspricht einer Energie von 2,18 Joule. Die Kugel wurde hierbei mittels Kunststoffrohr geführt.

Um den Temperaturbereich eingrenzen zu können und aufgrund der Erkenntnisse des durchgeführten Vorversuches wurden erneut mehrere Blechabschnitte eingespannt, gekühlt und im Fallversuch geprüft.

Durch den nachgestellten Hagelschlag konnten keine Anrisse im Bereich der Falz erzeugt werden.

Die durchgeführten Versuche zeigen, dass bei für Unwetter typischen Temperaturen (>0 °C) es zu keine Anrissen im Blech bzw. dem Bereich der Falz kommt.

6.6. Ergebnis und Bewertung

Die durchgeführten Untersuchungen sowie Nachstellversuche zeigen, dass Hagelschaden und Risse nicht im Zusammenhang stehen.
Als mögliche Schadenursachen der Rissbildung können in Betracht gezogen werden:

- Verarbeitung der Bleche bei < 10 °C und damit eingehender Vorschädigung
- Belastung bei tiefen Temperaturen (Winter)

7. Korrosion von Titanzink (Bildung von Weißrost)

Titanzink wird als Material für Dächer, Außenwandverkleidungen sowie im Bereich Entwässerung (Dachrinne, Fallrohre, etc.) eingesetzt. Es ist als Material mit einer lang anhaltenden Korrosionsbeständigkeit gegenüber üblichen klimatischen Einflüssen am Markt, insbesondere auch für Dacheindeckungen, etabliert.

Die Korrosionsbeständigkeit geht jedoch verloren, wenn durch ungünstige Bedingungen keine Möglichkeit gegeben ist, dass sich die materialtypischen Schutzschichten ausbilden bzw. wieder ausbilden können.

Es sollte zu den Abläufen bei Korrosion von Titanzink-Blech, wie es beispielsweise für Dacheindeckungen verwendet wird, Stellung genommen werden

7.1. Ausführungen

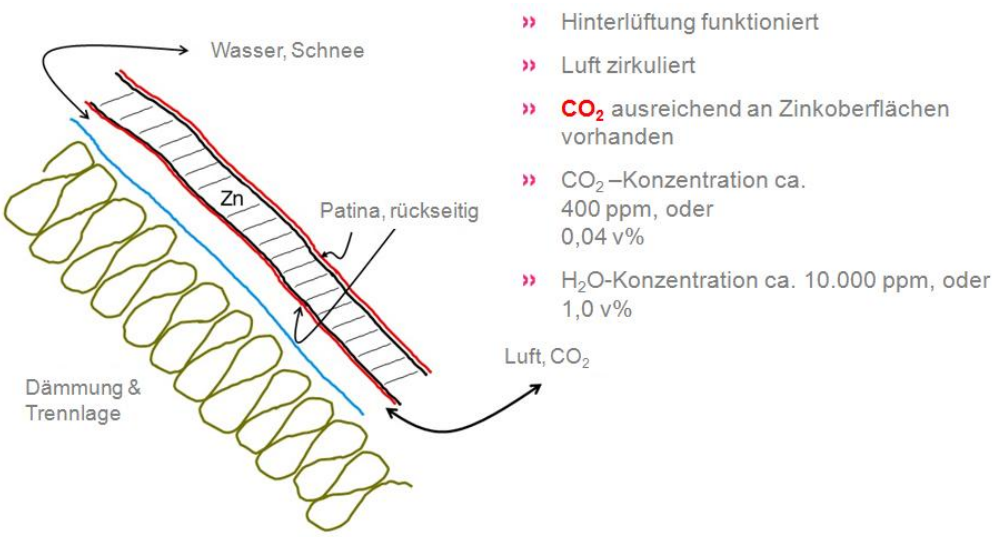
Titanzink ist eine Legierung aus Zink mit geringen Anteilen von Kupfer, Titan und Aluminium.

Die weite Verbreitung von Titanzink als Material für z.B. Dacheindeckungen beruht auf dem Vermögen des Elementes Zink und seiner Legierungen unter normalen atmosphärischen Bedingungen Schutzschichten an der Oberfläche auszubilden. Diese Schutzschichten verleihen dem Material lang anhaltende Korrosionsbeständigkeit gegenüber den Witterungseinflüssen üblicher Klimate, wie sie in Mitteleuropa vorherrschen.

Die Ausbildung und Stabilität dieser Schutzschichten ist jedoch an gewisse Randbedingungen geknüpft. Außerhalb dieser Stabilitätsbereiche und bei Fehlen der Voraussetzungen zur Bildung von Schutzschichten kann die Korrosionsbeständigkeit schnell verloren gehen.

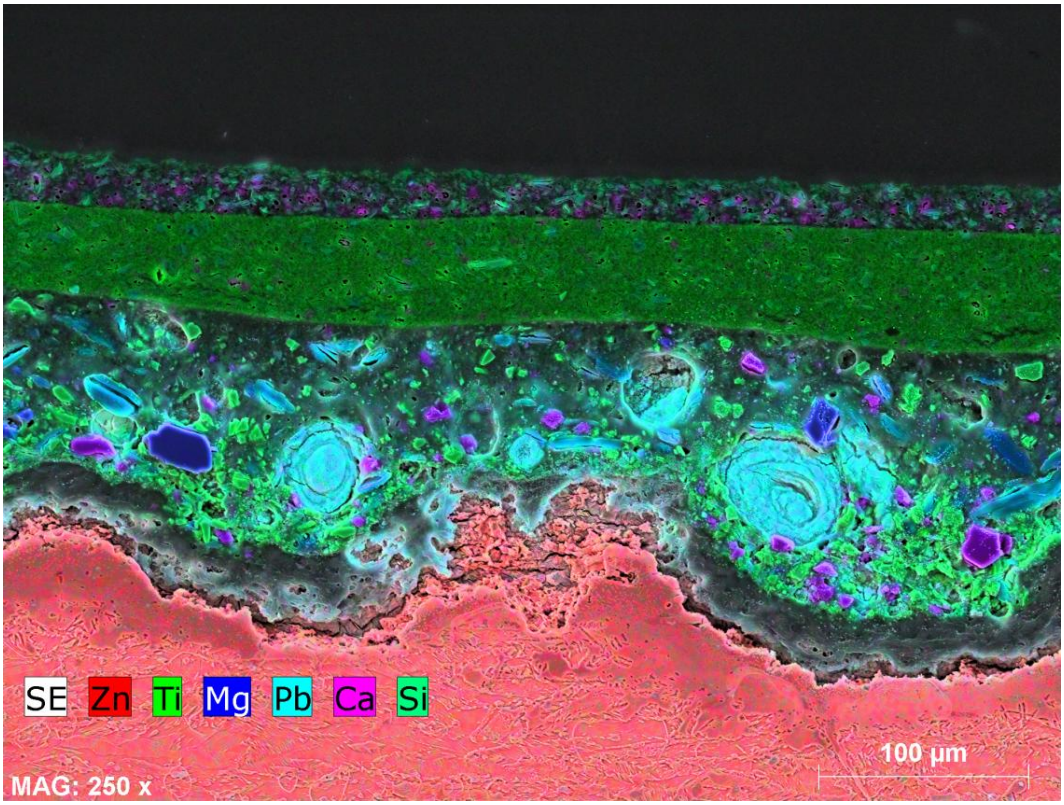
Als Hauptkomponente der vor Korrosion schützenden Schicht wird basisches Zinkkarbonat angesehen, welches einen fest haftenden und wasserunlöslichen Belag auf dem metallischen Zink ausbildet. Seine Bildung folgt dabei folgender Kette chemischer Reaktionen \1\:

- Oxidation von metallischem Zink (Zn) durch Zutritt von Luftsauerstoff (O_2) zu Zinkoxid (ZnO)
- Umwandlung von Zinkoxid durch Einwirkung von Wasser (z. B. Niederschläge/Luftfeuchtigkeit) zu Zinkhydroxid ($Zn(OH)_2$)
- Umwandlung des Zinkhydroxids mit dem Kohlendioxid der Luft zu basischem Zinkkarbonat ($ZnCO_3$* $Zn(OH)_2$)



Steht nicht ausreichend Kohlendioxid zur Verfügung, kann sich auch keine schützende Zinkkarbonatschicht bilden. Wasser, Sauerstoff und Zink reagieren dann zu Zinkhydroxid, welches wasserlöslich ist (sogenannter Weißrost). Insbesondere an der Unterseite von Dachblechen aus Zink wird nicht ausreichend Kohlendioxid mit der Luftatmosphäre für die Reaktion nachgeliefert, wenn die Bleche auf einer luftdichten Schicht aufliegen. \1\

Korrosionsfördernd kann auch an der Unterseite der Zinkbleche angesammeltes Schwitz- oder Kondenswasser wirken, welches aus der Unterkonstruktion eindiffundiert oder durch Temperaturwechsel als Tauwasser aus der Luft anfällt. Nach \2\ löst sich Zink in destilliertem Wasser mit einer Abtragungsrate von 2g/(m²*d). Insbesondere Schwitzwasser bzw. Kondenswasser sind als destilliertes Wasser anzusehen, da sie zum Zeitpunkt des Anfalls weitestgehend frei von gelösten Salzen sind. Die Abtragungsraten auf der natürlich bewitterten Oberseite eines Zinkbleches erreichen nach \3\ lediglich Werte von 3,76 bis 6,46 g/(m²*a). Ein Angriff von destilliertem Wasser auf Zink kann also bis zu etwa 200fach stärker sein.



Kommen Mangel an Kohlendioxid und Vorliegen erhöhter Temperaturen (Aufheizen der Dachhaut im Sommer) zusammen, wird die Bildung des unbeständigen Zinkhydroxids und damit auch die Korrosion beschleunigt. \1\ und \2\

Auch der Ersatz durchfeuchteter Teile einer

Dachkonstruktion kann einen bereits begonnenen Korrosionsprozess, z. B. an der Unterseite der Titanzink-Bleche, nicht wieder rückgängig machen, wenn nicht ausreichend Kohlendioxid zur Bildung der beschriebenen Schutzschicht Zutritt zur Metalloberfläche hat.

Auf die Geschwindigkeit einer möglichen Korrosion haben eine Reihe Umgebungsfaktoren Einfluss. Genannt seien hier z.B. Höhe der Temperatur, Temperaturwechsel, Menge und Herkunft der Feuchtigkeit bzw. des Wassers, Luftzirkulation, Luftzutritt oder Art und Beschaffenheit der an das Metall angrenzenden Materialien. Das komplexe Zusammenwirken all dieser und weiterer Faktoren ist im jeweils vorliegenden Einzelfall nicht sicher quantifizierbar. Damit ist auch eine Voraussage zum möglichen Fortschritt einer Korrosion nicht möglich.

7.2. Quellen

\1\ Reiche, A.: Schäden an Titanzinkdächern durch unsachgemäße Planung und Ausführung, 4. Leipziger Bauschadenstag, 2003

\2\ Wendehorst, R.: Baustoffkunde. - 24. Auflage. - Hannover: C.R. Vincentz, 1994

\3\ Zertifikat RHEINZINK-Titanzink/RHEINZINK-Anformzink (Z.RHE102), Arbeitsgemeinschaft umweltverträgliches Bauprodukt e.V., München, 15.04.2002

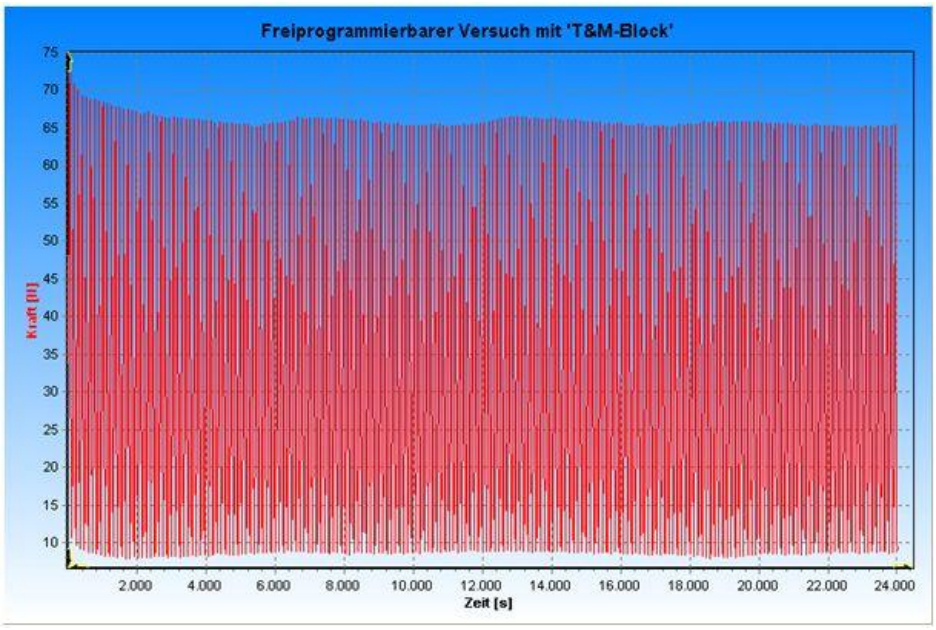
8. Schadenanalyse zu verklebter Dachbahn aus Rhepanolfolie

Folgende Hypothese sollte überprüft werden: durch Aufkleben von Solar Schlauchbahnen entsteht eine Situation, über die mechanische Kräfte übertragen durch den Kleber in die Dachabdichtung eingeleitet werden. Für die Prüfung wurde ein kundenspezifischer Aufbau an einer Zugprüfungsmaschine entwickelt und ein CAD-Modell gerechnet..

8.1. Herstellung der Platten für die Zugversuche

Für die Zugversuche in Anlehnung an ISO 527 wurden kundenspezifische Prüflinge hergestellt. Diese bestanden aus Pressholzplatten auf denen die Rhepanolfolie aufgeklebt wurde. Die Folie wurde an einem Streifen am oberen Ende der Platte verklebt. Auf die Rhepanolfolie wurde mittig die Absorbermatte (Breite 100 mm) mit verschiedenen Klebstoffen befestigt. Die Klebestelle hat dabei eine definierte Größe. Es wurden mehrere verschieden Klebstoffe im Vergleich zu einer mechanischen Verbindung geprüft..

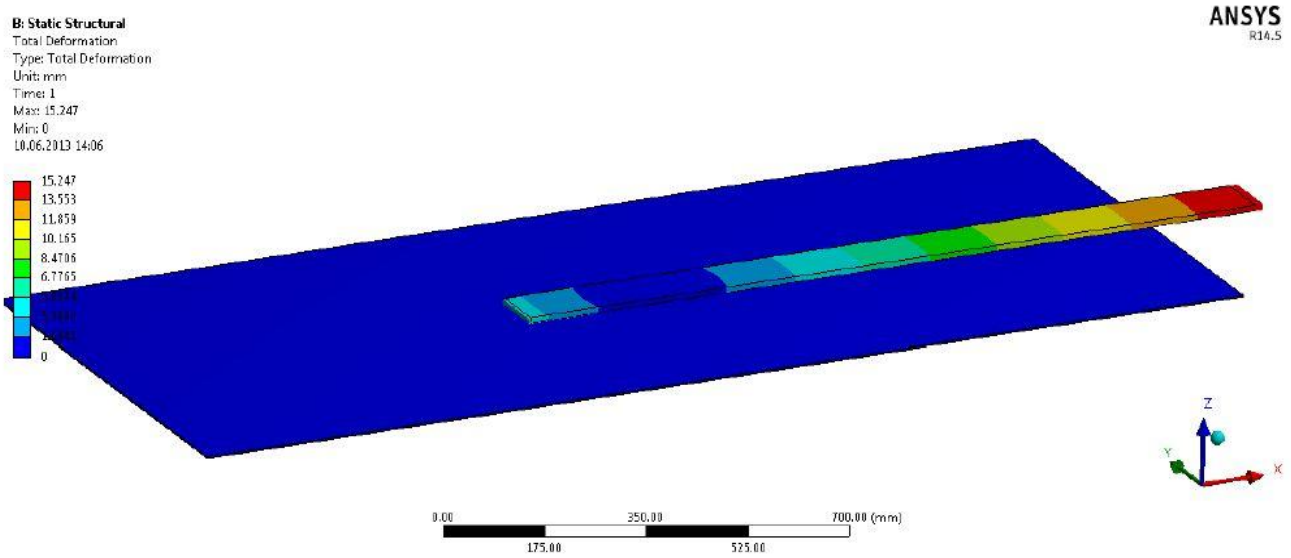
8.2. Zugversuche in Anlehnung an ISO 527



Die hergestellten Proben werden vor der Zugmaschine befestigt. Die Zugkraft wird von der Traverse über eine Umlenkrolle am unteren Querbalken auf die Absorbermatte übertragen (Bild 8). Hierzu wird ein Stahlseil an der Traverse und mittels Metallschienen an der Absorbermatte befestigt.

Für die Simulation der Wärmeausdehnung der Absorbermatte wurde ein zyklisches Prüfprogramm für die Zugprüfmaschine ntworfen. Aufgrund vom Wärmeausdehnungskoeffizienten und der geschätzten Anzahl der Temperaturzyklen, die diese Absorbermatte im Einsatz erfährt, wurden folgende Parameter verwendet. Die Zyklenanzahl wurde auf 500 Zyklen mit einer Amplitude von 25 mm festgelegt. Am Anfang jeder Prüfung wurde eine Vorkraft von 30 N eingestellt. Dies dient dazu das System in einen vorgestreckten Zustand zu bringen, bevor mit dem Zugversuch begonnen wird. Danach wurde der festgelegte Weg von 25 mm mit 5 mm/min gefahren und anschließend wieder zurückgefahren. Dieser Vorgang wurde 500-mal wiederholt. Am Ende des gesamten Versuches wurde die Absorbermatte wieder entlastet.

8.3. CAD-Modell und FEM-Simulation



Die Kräfte, die bei der Belastung der Absorbermatte auf die Rhepanolfolie übertragen werden, können durch ein CAD-Modell simuliert werden. Bei dieser sogenannten FEM-Simulation wird ein CAD-Modell erstellt, welches an den Aufbau der Proben der Zugversuche angelehnt ist. Es handelt sich dabei nur um eine ausreichend genaue Annäherung an die tatsächlichen Probengeometrien.

8.4. Ergebnis und Bewertung

Zugversuche

Sämtliche durchgeführten Zugversuche führten nicht zum Entstehen eines Risses der Rhepanol-Folie. Es konnte lediglich eine Faltenbildung beobachtet werden. Am hinteren Teil der Klebestelle (von der Zugmaschine betrachtet) wird die Rhepanolfolie gedehnt, während sie am vorderen Teil gestaucht wird. Dadurch entstehen davor Aufwellungen (Bild 9 und 10).

Dieses Phänomen ist bei allen Arten der Verklebung zu beobachten.

Bei den Zugversuchen wurde jeweils die Kraft über die Zeit aufgezeichnet. Die Zugkraft ist im ersten Zyklus am größten und fällt in den ersten 50 bis 100 Zyklen um etwa 10 % ab (Bild 14). Dies ist mit einer Streckung der Absorbermatte zu erklären. Danach bleibt die maximale Zugkraft ungefähr gleich.

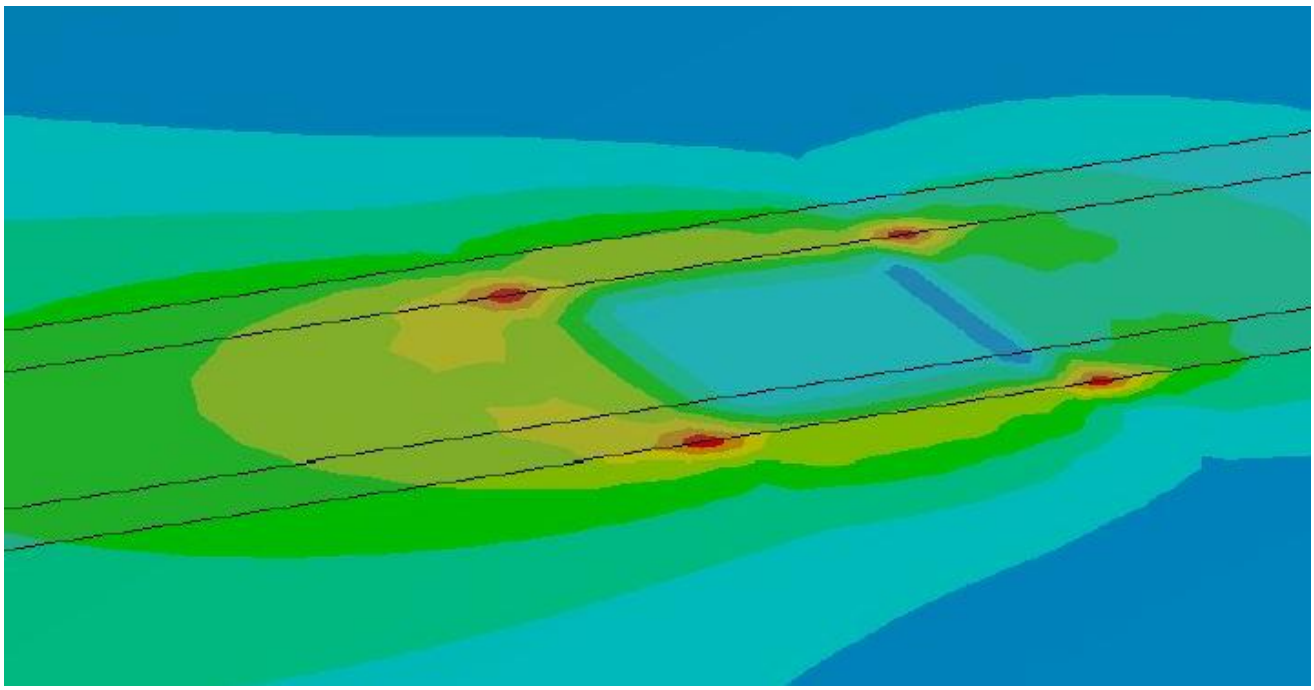
Bei der Verklebung mit Baudicht 320 lösten sich beim Beaufschlagen der Zugkraft ca. 5 bis 10 mm der Ränder der Absorbermatte von der Rhepanol-Folie. Der Kleber blieb auf der Folie zurück. Bei allen anderen Verklebungsarten ist dies nicht aufgetreten.

Trotz des gleichen Ausgangs der Zugversuche zeigen die Kleber unterschiedliches Verhalten. Baudicht 320 ist relativ weich und härtet langsam aus, wenn es in einer gewissen Dicke aufgetragen wird. Dies ist der Fall, weil Luftfeuchtigkeit benötigt wird, damit der Klebstoff aushärten kann.

GreWi All In One Power sowie Cosmo-PUR zeigen ein anderes Verhalten. Die Verklebungen sind härter und unflexibler als Baudicht 320, allerdings sind diese durchgehärtet.

SikaBond AT zeigt eine gute Klebewirkung. Die Verklebung ist flexibel, durchgehärtet und zeigt keine Anzeichen von Versagen.

8.5. CAD-Modell



Aus dem CAD-Modell ist zu erkennen, dass an den Ecken der Klebeverbindung Spannungsspitzen entstehen (Bild 13). Dort wird die Kraft von der Absorbermatte über die Verklebung auf die Rhepanol-Folie übertragen. An diesen Stellen ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Beschädigungen am höchsten.

9. Anwendungstechnische Untersuchungen zu Schneeeintritt an Dachsteinen

Zur Bestimmung der Schneedurchtrittsrate an Dachsteinen eines 4x4-Feldes wurde eine technologische Prüfung mit Windkanal und Kunstschnee aufgebaut.

Im Labor wurden damit "glatte" und "besandete" Dachpfannen untersucht, vor Ort am Steildach ebenfalls "glatt" und "besandet".

Das Ergebnis ist, die glatten Steine lassen mehr Schnee durch als die besandeten Steine. Im Gebrauch auf dem Dach sinkt die beobachtete Schneedurchtrittsrate; bei den besandeten Steinen auf sehr geringe Werte.

9.1. Experimenteller Aufbau

Zur Bestimmung des Schneedurchtritts an Dachsteinen wurde eine technologische Prüfung aufgebaut. Uns sind keine technischen Regelwerke bekannt, die eine derartige Vorrichtung beschreiben, deshalb wurde eine Eigenkonstruktion erstellt.

9.2. Mobiler Windkanal

Der mobile Windkanal ist ein geschlossenes System, welches die eingeschlossene Luft mit Hilfe eines Ventilators über der ausgewählten Fläche zirkulieren lässt. Nachdem die Luft über das Teilstück des Daches gestrichen ist wird sie wiederum nach oben zum Ventilator umgeleitet, von wo der Prozess erneut beginnt. Der Ventilator ist ein verwirbelungsarmer Radiallüfter mit niedriger Drehzahl. Die Seitenteile sind als abnehmbare Füllungen aus durchsichtigem Plexiglas ausgeführt, wodurch der Versuchsraum beobachtet werden kann und zudem das Eingreifen in den Versuch ermöglicht wird.

Die Eigenkonstruktion erlaubt den Betrieb unter folgenden Parametern:

- prüfbare Fläche 4 x 4 Steine, also ca. 1,42 x 1,24 m, das entspricht 1,41 m^2
- Länge der luftbestrichenen Unterkanten an Dachsteinen: 3,36 m
- luftbestrichene Fläche 1,26 x 1,12 m
- Kanalquerschnitt: 0,45 x 1,12 m
  Windgeschwindigkeit 30 km/h
- „Wind“-erzeugung durch einen Windkanal, d.h. die Luft zirkuliert
- "Wind"-Richtung: von unten nach oben am Steildach
- Schneeersatz:
  PE-Flocken (Polyethylen) mit diversen Körnungen,
  anti-statisch ausgerüstet,
  Brandschutzklasse B1
- Schneegröße < 2,36 mm Siebfraktion
- Einsatzfähig im Labor und vor Ort auf dem Dach
- Gewicht 130 kg, Hebeanschläge

9.2.1. Kunstschnee

Für reproduzierbare Ergebnisse muss ein Schneeersatz eingesetzt werden, denn das Hantieren mit realem Schnee ist ausgeschlossen: 1) hoher apparativer Aufwand für Arbeiten < 0 °C, 2) die Ostwald-Reifung des Eis-Schnees verhindert konstante Schnee-Eigenschaften, 3) die mechanische Belastung der Eisschneekörner im „Flugschneeeinsatz“ ändert ihre Morphologie.

Weitere notwendige Eigenschaften des einzusetzenden "Schnees" sind: 1) anti-statisch ausgerüstet, 2) Brandschutzklasse B1, 3) ungiftig.

Tabelle 6: Schnee-Ersatz Display Snow Medium – Kunstschnee

9.3. Labor-Untersuchungen zum Schneeeintritt

Unter Laborbedingungen wurden an allen Dachsteinproben Experimente mit den Parametern aus dem Abschnitt 3.1 durchgeführt.

Tabelle 7: Auswertungen der Experimente zum Schneedurchtritt mit den Dachsteinen „Frankfurter Pfanne“

GWP #	Dachsteine	Exposition / m^{-2}	durch-getretener Schnee / g	Prüfdauer / min	Schnee-durchtrittsrate / g min^{-1} m^{-2}
1	neu; glatte Oberfläche	1,41	2,8; 3,9; 3,0	5	0,48
2	5 Jahre auf Dach; glatte Oberfläche	1,41	3,1	5	0,44
3	neu, granulierte Oberfläche	1,41	2,6	5	0,37

9.4.

9.5. Untersuchungen zum Schneeeintritt vor Ort

Das entsprechende Dach war von beiden Seiten durch Gerüste zugänglich, der Windkanal wurde durch einen Autokran auf dem Dach positioniert. Im zugänglichen Dachstuhl wurde jeweils ein 4x4 – Ziegelfeld mit Papierbahn abgeklebt um den Schneeeinflug auffangen zu können.

Die Durchführung der Schneedurchtrittsratenbestimmung erfolgte unter identischen Bedingungen wie unter den Laborbedingungen, siehe 9.2.1. Jede Messung erfolgte zweimal, d.h. nach Beendigung der ersten Windkanalprüfung über 5 Minuten wurde eine zweite Messung gestartet (ohne Reinigung erneut 50 g ausgebracht).

Tabelle 8: Auswertungen der Experimente zum Schneedurchtritt auf dem Dach mit „Frankfurter Pfanne“

GWP-Proben-#	Dachsteine	Exposition / m^{-2}	durch-getretener Schnee / g	Prüfdauer / min	Schnee-durchtrittsrate / g min^{-1} m^{-2}
4-1	Dach, ca. 10 Jahre, Ostseite, granulierte Oberfläche	1,41	0,1	5	0,02
4-1	Wiederholung, Dach, ca. 10 Jahre, granulierte Oberfläche	1,41	0,1	5	0,02
4-2	Dach, Westseite, glatte Oberfläche	1,41	1,9	5	0,27
4-2	Wiederholung, Dach, Westseite, glatte	1,41	1,4	5	0,20

GWP-Proben-#	Dachsteine	Exposition / m^{-2}	durch-getretener Schnee / g	Prüfdauer / min	Schnee-durchtrittsrate / g min^{-1} m^{-2}
	Oberfläche				

Ergebnis

Tabelle 9: Zusammenfassung der beobachten Schneedurchtrittsraten (gemittelt, falls möglich)

GWP-Proben-#	Dachsteine	Exposition / m^{-2}	durch-getretener Schnee / g	Prüfdauer / min	Schnee-durchtrittsrate / g min^{-1} m^{-2}
1	neu; glatte Oberfläche	1,41	3,2	5	0,48
2	5 Jahre auf Dach; glatt	1,41	3,1	5	0,44
3	neu, granulierte Oberfläche	1,41	2,6	5	0,37
4-1	Ortstermin; Ostseite granulierte Oberfläche	1,41	0,1	5	0,02
4-2	Ortstermin; Westseite glatt	1,41	1,7	5	0,24

10. Weiteren Untersuchungen im Bereich Bau

10.1. Schadensanalyse an korrodierten Biertanks

10.2. Untersuchung von Asbest und KM-Fasern

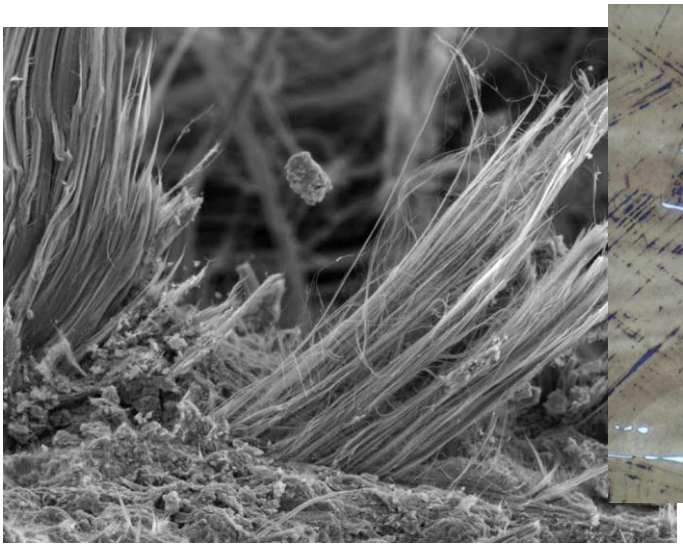
10.3. Schadensanalyse an korrodierten Rohren

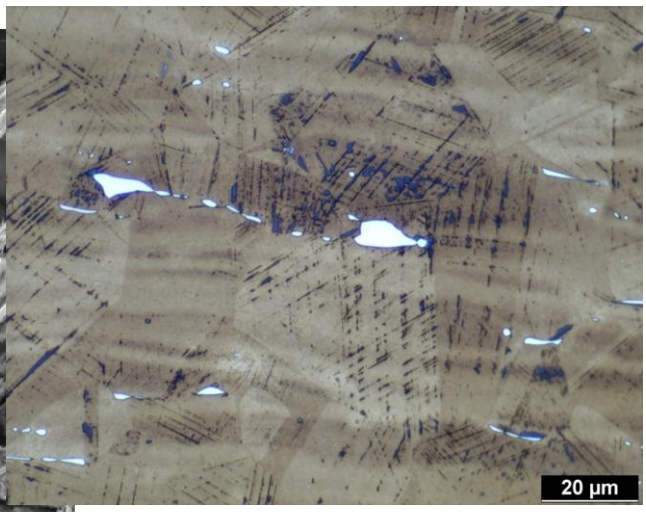
10.4. Abschätzung von Alter und weiterer Lebensdauer von Wasserrohren

10.5. Bestimmung des Fortschrittes von Spongiose an Guss-Wasserrohren

10.6. Umweltsimulation an Dachziegeln

10.7. Schadensanalyse eines gebrochenen Fensterbandes

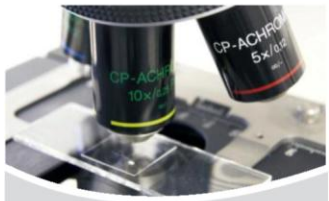




›› Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH

› Analytik

› Werkstoffprüfung



› Materialografie

› Qualitätssicherung

› Schadensanalyse

› Entwicklung

› Laborservices

› Analytikum
› Chemie & Korrosionslabor
› Elektroniklabor
› Gaslabor
› Kunststofflabor
› Materialografie
› Mikroskopie REM/LIM
› Umweltsimulation
› Werkstatt
› Werkstoffprüfung
› Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

› Schadensanalyse

› Airbag
› Batterien
› Baustoffe
› Fraktographie
› Heterogene Katalyse
› Industrielle Prozesse und Produkte
› Korrosion
› Kunststoffe
› Medizintechnik
› Metallische Gefüge
› Oberflächentechnik
› Zerstörungsfreie Prüfung

› GWP Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH
› Georg-Wimmer-Ring 25, D-85604 Zorneding/München
› Tel. +49 (0) 8106 994 110
› Fax +49 (0) 8106 994 111
› Mail info@gwp.eu
› Web www.gwp.eu

GWP