

- > Wissen schafft Fortschritt[®]
- » Klebelabor in der Praxis
- > Technische Mitteilung 20160810

- Dr.-Ing. Michael Ziegltrum Senior-Experte f
 ür Kunststoff-Verarbeitung michael.ziegltrum@gwp.eu
- Michael Schindler Junior-Spezialist f
 ür Klebtechnik michael.schindler@gwp.eu

 GWP Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH

 Georg-Wimmer-Ring 25
 ☎ +49 (0)8106 994 110

 D-85604 Zorneding/München
 ≞ +49 (0)8106 994 111

Inhalt

1.	Einleitung	3
2.	Kontaminationsanalyse	3
2.1.	Untersuchung mittels Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometrie (ToF-SIMS)	3
2.1.	1. Messmethode	3
2.1.	2. Messdurchführung und -ergebnisse	3
2.2.	Thermische Analyse mittels Dynamischer Differenzkalorimetrie (Differential Scanning	_
	Calorimetry, DSC)	5
2.2.	1. Messmethode	5
2.2.	2. Messdurchführung und -ergebnisse	5
2.3.	Ergebnis und Bewertung	5
3.	Überprüfung der Klebestoffeignung	6
3.1.	Recherche	6
3.2.	Klebkraftbestimmung vor Temperaturauslagerung	7
3.3.	Klebkraftbestimmung mit Temperaturauslagerung für 240 h	7
3.4.	Bewertung	9
4.	Schadensanalyse der Enthaftung eines Dachaufbaues bestehend aus Dämmstoffpaket	t
	und Dachbahn	9
4.1.	Bestimmung der Abzugkräfte des Dämmstoffpakets1	0
4.1.	1. Haftung im verklebten Gesamtpaket 1	0
4.1.	2. Haftung innerhalb Dämmstoffpaket 1	0
4.1.	3. Bewertung der Abzugsversuche1	1
4.2.	Charakterisierung der Klebung Dachbahn-Dämmstoffpaket1	1
4.3.	Bewertung 13	3
5.	Analyse des Einflusses eines Klebstoffes auf das Substrat	4
5.1.	Schadenshypothese und Vorgehen14	4
5.2.	Ergebnisse und Auswertungen14	4
5.2.	1. Lichtmikroskopie / Makroskopie 14	4
5.2.	2. Härtemessungen	5
5.2.	3. FTIR Analyse	5
5.2.	4. REM Analysen	6

1. Einleitung

Kleben wird oft als das Fügeverfahren des 21. Jahrhunderts bezeichnet. Einer der vielen Vorteile die dieses Verfahren bietet, ist dass es theoretisch jede Materialkombination miteinander verbinden kann. In der Praxis benötigt es hier jedoch weitreichende Untersuchungen, um herauszufinden welche Art Kombination aus Oberflächenvorbehandlung und Klebstoff zum Ziel führt. In vielen Fällen sind solche Untersuchen aus Zeit- oder Kostengründen nicht möglich, so dass es zu Problemen mit den Klebverbindungen kommen kann. Die GWP hat in der Vergangenheit bereits bewiesen, dass sie sowohl im Schadensfall die haftungsstörende Komponente identifizieren als auch im Vorfeld Substrat/Klebstoff-Kombinationen testen und optimieren kann.

Die folgende technische Mitteilung zeigt anhand von Beispielen wie die GWP Kontaminationen detektiert und die Haftung von Klebstoffen bzw. Fügeteilen auf Substraten bewertet.

2. Kontaminationsanalyse

Kontaminationen sind eine häufige Ursache für Enthaftungen. In manchen Fällen tritt dieses Ablösen der Klebschicht sogar erst nach einiger Zeit auf. In einem Fall bestand dieses Problem bei der Verklebung einer Styropor-Dämmschicht auf einem Porenbeton-Untergrund mittels eines PU-Klebstoffs. Drei Jahren nach der Aufbringung der Dämmschicht fand teilweise eine Enthaftung statt, deren Ursache zu klären war.

2.1. Untersuchung mittels Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometrie (ToF-SIMS)

2.1.1. Messmethode

Das ToF-SIMS-Verfahren liefert Informationen über die atomare und molekulare Zusammensetzung der obersten Atomlage einer Oberfläche. Bei der Flugzeit-Massenspektroskopie wird die Probenoberfläche mit einem Primärionenstrahl beschossen. Diese Primärionen können nicht in die Probenmatrix eindringen und geben daher ihre Energie an die in der Oberfläche vorhandenen Moleküle bzw. Atome ab. Durch die Energieübertragung werden neben einem großen Anteil an ungeladenen Teilchen geladene Atome bzw. Molekülfragmente, die Sekundärionen, erzeugt.

Die geladenen Teilchen werden beschleunigt und in einem Flugzeit-Analysator entsprechend ihrem Masse-/Ladungsverhältnis (m/z) getrennt. Als Ergebnis erhält man das Sekundärionenmassenspektrum, welches ein für die betreffende Oberfläche typisches Muster zeigt.

Die Leistungsmerkmale des Messverfahrens sind einerseits die hohe Oberflächensensitivität und andererseits die sehr geringe Nachweisgrenze (Konzentrationen von 10 ppm einer Monolage). Die hohe Massenauflösung des Verfahrens erlaubt eine zuverlässige Identifizierung von chemischen Komponenten einer Oberfläche.

Die durch ToF-SIMS-Untersuchungen gewonnenen Daten sind nicht inhärent quantitativ, da die Intensität der nachgewiesenen Sekundärionen von der Art der chemischen Zusammensetzung in der obersten Monolage abhängt (SIMS-Matrixeffekt). Semiquantitative Daten können jedoch dann gewonnen werden, wenn die chemische Umgebung der zu vergleichenden Proben nur wenig variiert.

2.1.2. Messdurchführung und -ergebnisse

Die ToF-SIMS Analyse wurde am Klebeinterface einer intakten und einer enthafteten Probe jeweils auf der Styropor- und der PU-Seite durchgeführt. Für die Untersuchung der

Grenzflächen der intakten Klebung wurden bei dieser die beiden Schichten vorsichtig mit einer Pinzette enthaftet. Die Resultate der Messungen sind auszugsweise in den folgenden Abbildungen aufgeführt.



Abbildung 2.1: ToF-SIMS Ergebnisse der positiven Ionenpolarität für die n.i.O.-Styropor-Probe



Abbildung 2.2: ToF-SIMS Ergebnisse der negativen Ionenpolarität für die n.i.O.-Styropor-Probe

Im Wesentlichen werden auf der enthafteten n.i.O.-Probe im Vergleich zur i.O.-Probe mit intakter Klebung folgende Elemente und Verbindungen nachgewiesen:

- Anorganische Ionen Na, CI, NH₄ (evtl. durch Fingerabdrücke)
- Aliphatische Kohlenwasserstoffe (evtl. Mineralöl)
- Silikonfragmente
- Sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe (evtl. Fragmente des Weichmachers)
- Sulfate und Dodecylbenzolsulfonat (waschaktive Substanz).

2.2. Thermische Analyse mittels Dynamischer Differenzkalorimetrie (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

2.2.1. Messmethode

Gemessen wird die Differenz der Wärmeströme vom Ofen (Heizelement) zur Probe bzw. vom Ofen zur (chemisch inerten) Referenzprobe als Funktion der Temperatur. Das gemessene Signal, d. h. die Fläche unter einem Peak der Messkurve, ist direkt proportional zur aufgenommenen (endothermer Vorgang) oder abgegebenen (exothermer Vorgang) Wärme. Die DSC ist demnach eine Methode zur quantitativen Messung von Wärmeeffekten (Enthalpien) und deren zugehörige Temperaturen zwischen Probe und Vergleichsprobe.

Anwendungsbereiche in der Kunststoffanalytik sind u. a.:

- Charakterisierung thermischer Umwandlungen (Schmelzen, Kristallisation, Phasen- und Glasübergänge, …)
- Reinheitsprüfung
- Charakterisierung des thermischen Verhaltens (Zersetzung, Oxidation, Reduktion)

Zur Kunststoffanalytik werden zwei Aufheizphasen durchlaufen. Die erste Aufheizung lässt Rückschlüsse auf die thermomechanische Vorgeschichte (z. B. hervorgerufen durch die Verarbeitung) eines Kunststoffes zu. Die zweite Aufheizung gibt die stoffspezifischen Eigenschaften wieder.

Methode/Messprogramm:

- 1. Aufheizung: 20 °C bis 230 °C mit einer Rate von 20 °C/min
- 2. Aufheizung: 20 °C bis 450 °C mit einer Rate von 20 °C/min

2.2.2. Messdurchführung und -ergebnisse

Es wurden die DSC-Messungen der PU-Seite einer enthafteten Probe und der PU-Seite einer intakten Klebung verglichen. Eine aus dem zur Verfügung gestellten Klebstoff selbst hergestellte PU-Probe diente dabei als Referenz.

Die Auswertung der DSC-Analyse zeigt bei den Proben keinen signifikanten Unterschied. Abweichungen der Peakflächen der 1. Aufheizung ergeben sich aus unterschiedlichen Nachaushärtungen (Restreaktivitäten) der Proben, die jedoch keinen Einfluss auf das Adhäsionsvermögen des Klebstoffs haben.

2.3. Ergebnis und Bewertung

An der Grenzschicht der enthafteten Klebung konnten mittels ToF-SIMS-Analyse in erhöhtem Maße Silikone detektiert werden. Diese sind auf der i.O.-Klebung in deutlichen geringen Mengen nachweisbar. Desweiteren wurden waschaktive Substanzen gefunden, die die Oberflächenspannung herabsetzen. Silikone können zu Haftungsproblemen führen. Als wahrscheinlichste Ursache für die vorliegenden Haftungsprobleme kann deshalb das Eindiffundieren von diesen in die Klebeschicht angesehen werden.

In den DSC-Messungen zeigen sich keine relevanten Unterschiede zwischen dem i.O.- und n.i.O.-PU-Kleber, bzw. einer aus dem gleichen Material hergestellten Referenzprobe. Die Haftungsprobleme werden vermutlich nicht durch den PU-Kleber hervorgerufen.

3. Überprüfung der Klebestoffeignung

Oft gibt es für spezielle Problemstellungen bereits mehrere geeignet erscheinende Kandidaten für die Verklebung. Mittels verschiedener Haftungsuntersuchungen können die Kombinationen aus jedem Klebstoff und dem vorgesehenen Substrat geprüft und durch die erhaltenen Messwerte miteinander verglichen werden.

In einem Beispiel wurden drei Klebebänder auf ihre Eignung zum Einsatz mit einer Dampfsperre geprüft: Ein Klebeband des Herstellers der Dampfsperre, ein Panzertape und ein Referenz-Klebeband

Für ein Gerichtsgutachten sollen folgende Behauptungen geprüft werden:

- 1) Das Klebeband des Herstellers der Dampfsperre ist nicht auf diese abgestimmt.
- 2) Panzertape büßt bei Temperaturschwankungen an Haftfähigkeit ein.
- 3) Die drei Klebebänder sind ungeeignet für den Einsatz mit einer Dampfsperre

Zur Klärung dieser Fragen wird wie folgt vorgegangen:

- a) Prüfung der Eignung nach Aktenlage
- b) Prüfung der Eignung nach Herstellerangaben
- c) Prüfung der Eignung durch Bestimmung der Klebkraft (alle drei Klebebänder)
- d) Prüfung der Eignung durch Bestimmung der Klebkraft nach Temperaturauslagerung (an Panzertape)

3.1. Recherche

Zur Prüfung der Eignung wurden Literaturdaten und Herstellerangaben recherchiert. Die Angaben aus der Literatur sind in Tabelle 3.1 angegeben.

Klebeband	Temperaturbeständigkeit	Alterungsbeständigkeit	Bemerkungen
Hersteller der Dampfsperre	- 40 °C bis + 100 °C	Hohe Dauerklebekraft, kann weder austrocknen noch verspröden, macht Bau- bewegungen zuverlässig und dauerhaft mit	Diffusionsäquivalente 40 m (nach EN 1931), siehe [3]
Referenz	- 40 °C bis + 100 °C	Vgl. Klebeband "1"	Diffusionsäquivalente 8 m (nach EN 1931), siehe [4]
Panzertape	bis + 50 °C	Alterungsbeständig	"lässt sich leicht wieder lösen", "wasserfest", siehe [5], Klebkraft 6,0 [N/cm], bzw. 2,6 [N/cm] siehe [6]

T	abelle	3.1:	Relevante	Literaturangab	en

Die Hersteller machen folgende Angaben:

Der Hersteller des Referenzklebebandes prüft seine Bänder nicht auf die Eignung mit der untersuchten Dampfsperre. Der Hersteller der Dampfsperre dagegen bestätigt eine Eignung der eigenen Klebebänder. Es wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass entsprechende Tests mit dieser Dampfsperre durchgeführt werden. Alle Klebeprodukte erfüllen laut Herstellerangaben die EnEV. Selbstverständlich ist eine Verarbeitung entsprechend der Gebrauchsanleitung einzuhalten.

Für die Eignung eines Klebebands zum Einsatz mit einer Dampfsperre ist insbesondere die Dauerhaftigkeit entscheidend. Die Klebebänder vom Hersteller der Dampfsperre werden auf verschiedenen Untergründen auf eine Dauerklebkraft für bis zu 50 Jahren getestet.

Auf Grund der Gesetzeslage sind für Dampfsperren und Klebebänder allerdings noch keine Normen verfügbar, da diese als "am Bau geringfügig beteiligt" eingestuft werden. Aktuell ist eine Normung in Abstimmung mit den Herstellern in Arbeit (DIN 4108 Teil 11 Mindestanforderungen an Klebebänder), diese ist jedoch noch nicht veröffentlicht. Insgesamt sind nach Angaben des Deutschen Instituts für Bautechnik "bauaufsichtliche Zulassungen [für Dampfsperren und deren Verklebungen] nicht erforderlich". Die Produkte werden daher der Bauregelliste C zugeordnet.

3.2. Klebkraftbestimmung vor Temperaturauslagerung

Die Bestimmung der Klebkraft erfolgte in Anlehnung an EN 1939:2003. Entgegen der Norm werden die Klebebänder nicht von einer Stahloberfläche, sondern direkt von der Dampfsperre abgezogen. Die Experimente zeigen eine gute Wiederholbarkeit innerhalb einer Prüfserie. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.2 gezeigt. Die Klebkraft des Klebebands des Dampfsperren-Herstellers ist sehr gut. Die Klebkraft des Panzertapes dagegen fällt stark ab. Die Klebkraft auf der Dampfsperre liegt deutlich unterhalb eines durchschnittlichen Literaturwerts von 8,5 N/cm (auf Stahl), bzw. 3,7 N/cm (auf Bandrücken).

Klebeband	F _{max} [N/cm]	F _{av} [N/cm]
Dampfsperren- Hersteller	10,7	8,9
Referenz	7,7	6,7
Panzertape	1,2	0,8

Tabelle 3.2: Klebkraft der unterschiedlichen Klebebänder auf Dampfsperre

3.3. Klebkraftbestimmung mit Temperaturauslagerung für 240 h

Die Klebkraftbestimmung wird analog zur Raumtemperatur durchgeführt. Es wird jedoch gegenüber dem Betriebsfall eine erhöhte Temperatur gewählt, um so die Dauerfestigkeit der Klebkraft zu simulieren. Es wurde eine Auslagerung für 240 h durchgeführt. Die Ergebnisse der Klebkraftbestimmung an Panzertape nach Temperaturauslagerung sind in Tabelle 3.3 aufgelistet. Es zeigt sich, dass die erhöhte Temperatur zu einem Aushärten des Klebers führt und so leicht höhere Maximalwerte erhalten werden. Die durchschnittliche Klebkraft ist vergleichbar geblieben. Allein sehr hohe Temperaturen führten zu einer signifikanten Abnahme der Klebkraft. An den Kraft-Weg-Diagrammen lässt sich jedoch erkennen, dass die Temperaturauslagerung bei dem Panzertape zu einer ungleichmäßigen Verteilung des Klebers geführt hat (siehe Abbildungen 1.1 - 1.3).

	1 1	0 0
Auslagerungstemperatur	F _{max} [N/cm]	F _{av} [N/cm]
50 °C	3,5	2,1
75 °C	2,9	1,9
100 °C	2,3	1,6

Tabelle 3.3: Klebkraft von Panzertape nach Temperaturauslagerung



Abbildung 3.1: Kraft-Weg-Diagramm für Panzertape bei RT



Abbildung 3.2: Kraft-Weg-Diagramm für Panzertape bei 75 °C Auslagerung. Es treten gröbere Schwankungen auf.

Indizien für ungleichmäßige Verteilung des Klebstoffes.



Abbildung 3.3: Kraft-Weg-Diagramm für Panzertape bei 100 °C Auslagerung. Es treten gröbere Schwankungen auf.

Indizien für ungleichmäßige Verteilung des Klebstoffes.

3.4. Bewertung

Die Thesen aus dem Gerichtsprozess können daher wie folgt beantwortet werden:

1) Das Klebeband des Herstellers der Dampfsperre ist nicht auf diese abgestimmt:

Das Klebeband ist auf die Dampfsperre abgestimmt und wird regelmäßig vom Hersteller auf ihre Eignung mit dieser getestet. Eigene Untersuchungen bestätigen die hohe Klebkraft von 8,6 bis 10,7N/cm.

2) Das Panzertape büßt bei Temperaturschwankungen an Haftfähigkeit ein:

Das Panzertape zeigt nach Temperaturauslagerung keine Einbußen der Haftfähigkeit. Bei 100 °C Auslagerung sinkt die Klebkraft.

3) Die drei Klebebänder sind ungeeignet für den Einsatz mit einer Dampfsperre: Von den drei Klebebändern eignen sich die beiden Klebebänder für den Einsatz mit der Dampfsperre. Das Panzertape zeigt 18 – 23 % der Klebkraft der anderen Klebebänder. Die simulierte Alterungsprüfung bei 100 °C zeigt eine Abnahme der Klebkraft. Aus dieser schließen wir eine kürzere Dauerhaftigkeit gegenüber den anderen beiden Klebebändern.

4. Schadensanalyse der Enthaftung eines Dachaufbaues bestehend aus Dämmstoffpaket und Dachbahn

In der überwiegenden Anzahl der Anwendungen von Klebstoffen wird die Kombination aus Klebstoff und Substrat im Vorfeld nicht im Labor getestet. In diesen Fällen kann es unter Umständen zu Enthaftungen kommen, deren Ursache zunächst meist unklar ist. Eine nachträgliche Untersuchung der Haftkräfte und der Klebschicht bietet hier eine Möglichkeit zur Schadensanalyse.

4.1. Bestimmung der Abzugkräfte des Dämmstoffpakets

4.1.1. Haftung im verklebten Gesamtpaket

Hier wird nur die Festigkeit, oder Kohäsion im klebetechnischen Sinne, der ca. 10 cm starken Dämmstoffschicht gegen Abzug untersucht. Die zugesicherte Zugfestigkeit des Dämmpaketes senkrecht zur Plattenebene – vereinfacht könnte man "Abreißfestigkeit" sagen – beträgt gemäß Datenblatt "TR 20", das entspricht einer Spannung von $\sigma_{mt} \ge 200$ hPa. 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 der Probe 1 vermessen, einem kompletten, unbeschädigten Paket Dachbahn + Verklebung + Dämmstoff.

Zur Prüfungsvorbereitung wurde die Probe 1 auf eine Holzplatte – ersetzt die Betonauflage im Feld - flächig verklebt. Die 5 nötigen Teilproben wurden aus dem fast quadratischen Stück verteilt aus der Fläche geschnitten. Die Maße sind gemäß der Forderung der Norm EN 12085 auf \pm 0,5 % zu bestimmen.

Probe -	Bezeichnung der Lage	Maße / mm	errechnete Fläche / cm ²	ermittelte Maximalkraft / N	σ errechnete Spannung / hPa	o spezifizierte Spannung "TR20" / hPa	Bemerkung
1-01	Ausschnitt ca. 12.00	200 x 200	400	300	75	200	Bruch nahe Kaschierung
1-02	Ausschnitt ca. 03.00	200 x 200	400	200	50	200	Bruch nahe Kaschierung
1-03	Ausschnitt ca. 06.00	200 x 200	400	260	65	200	Bruch schräg
-01 bis - 03	-	-	100	253,3	63,3	200	Mittelwerte

Tabelle 4.1: Messwerte Abzugkraft der verklebten Dämmstoffpakete

4.1.2. Haftung innerhalb Dämmstoffpaket

Zur Ermittlung der Abzugsfestigkeit **innerhalb** des Dämmstoffpaketes wurden die Proben aus 4.1.1 nochmals in Anlehnung an DIN 1607 vermessen:

- die offenliegenden Bruchflächen der Dämmung wurden als Abzugsangriff eingesetzt

- mit fugenfüllendem Klebstoff wurde eine Fläche, geeignet für die Zugversuche, verklebt

- Zugversuche durchgeführt

Tabelle 4.2 zeigt hier die Ergebnisse

Tabelle 4.2: Messwert	e Abzugkraft	innerhalb	der Dämn	nstoffpakete
	, wzagitian	initionalb	uci Duilli	istonpullete

Probe-	Bezeichnung der Lage	Maße / mm	errechnete Fläche / cm ²	ermittelte Maximalkraft / N	σ errechnete Spannung / hPa	Bemerkung
1-01	Ausschnitt ca. 09.00	200 x 200	400	320	80	Bruch auf Hälfte der Höhe
1-02	Ausschnitt mittig oben	200 x 200	400	280	70	Bruch nahe Klebung

Technisch	e Mitteilung	Seite 17	Seite 11 von 19 Seiten			
1-03	Ausschnitt mittig	200 x 200	400	300	75	Bruch auf Hälfte der Höhe
-01 bis -03	-	-	400	300	75	Mittelwerte

4.1.3. Bewertung der Abzugsversuche

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

Die Abreißspannung ist durchgängig ca. 62 - 75 % geringer als spezifiziert: 200 bis 300 N statt 800 N bei einer 400 cm² großen Probe (20 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 (siehe Abbildung 4.1)

Die Überprüfung der Abreißfestigkeit des verbleibenden Dämmstoffpakets – in Anlehnung an DIN 1607 - ergab ebenfalls eine zu geringe Abreißfestigkeit des verbliebenen Dämmstoffpaketes als spezifiziert.



Abbildung 4.1: Delaminierung der einzelnen Schichten des Dämmstoffpakets beim Zugversuch

4.2. Charakterisierung der Klebung Dachbahn-Dämmstoffpaket

Tabelle 3.3 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 3.3 aufsummiert und gemittelt.

	_	-	
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	7
1.3	Dachbahnvlies "Dämmstoff"	i.O. Verklebung, Bruch des Dämmstoffpakets	85
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	35

Tabelle 4.3:	mögliche	Fehler im	Paket	Bahn/Kleb	ung/Dämmstoff

3.2 Dämmstoffpaket Kern "Dämmstoff"

65

Abbildung 4.2 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).



Abbildung 4.2: Fehlerbilder: oben: Fehlermerkmale 1.1 - 1.3, Mitte: Fehlerbild 2.3, unten: Fehlerbild: 3.1

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.

Daraus folgen zwei Hypothesen:

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 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 "TR20" ergibt eine um rund 62 %, bis zu 75 % 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 starken, anhaftenden Dämmstoffschicht (mit wenigen Klebefehlern). Hier wird der Dämmstoff nicht auf flächiges, senkrechtes Abziehen belastet wie in den "Abreißfestigkeitstests" 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. 15 % 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. 85 % der zerstörten Fläche das Dämmstoffpaket aufgrund einer zu geringen Abreißfestigkeit gerissen ist. Auf ca. 15 % 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. Analyse des Einflusses eines Klebstoffes auf das Substrat

Wie bereits beschrieben müssen der verwendete Klebstoff und das Substrat kompatibel sein. Auf keinem Fall darf der Klebstoff das Substrat negativ beeinflussen und so eine Enthaftung verursachen. In einem Fall konnte dies jedoch nachgewiesen werden.

Kundenseitig wurden Schädigungen (aufgerissene Bereiche) von Dachbahnen festgestellt, die im Randbereich von Auftragungsraupen eines Dicht-/bzw. Klebstoffes auftreten. Auftragsgemäß sollte untersucht werden, ob der Klebstoff einen schädigenden Einfluss hat.

5.1. Schadenshypothese und Vorgehen

Es ist die Hypothese zu überprüfen, der Hybridklebstoff habe schädlichen Einfluss auf Dachbahnen. Das Bahnmaterial ist auf Polyisobuthylen Basis, dem mineralische Zusätze beigefügt sind. Der Hybridklebstoff ist eine Dichtmasse auf Polyetherbasis, die ca. 0,5% eines Oxysilans enthält und durch Eindiffundieren von Luftfeuchtigkeit vulkanisiert. Hierbei werden Spuren von Methanol freigesetzt, das nach Herstellerangaben sofort verdampft. Von anderen Polymeren (z.B. PVC, PE) ist bekannt, dass polare Substanzen wie Methanol oder NaOH durch Schwächung der intermolekularen Bindungskräfte die Duktilität erhöhen können (Weichmachereffekt). Oxysilane sind ebenfalls polare Verbindungen, die für einen solchen Effekt in Frage kommen könnten.

Nach einer makroskopischen Analyse der Schadensbereiche wurde die Universalhärte der Dachbahn unterhalb des Klebstoffes mit der Härte in Bereichen außerhalb des Klebstoffes verglichen. Als Referenz wurde zudem die Härte von Neumaterial des Herstellers bestimmt. Um indirekte Einflüsse des Klebstoffes (z.B. Stauung von schädlichen Stoffen, die von unten, z.B. aus dem Vlieskleber, kommen könnten und durch den Klebstoff nicht abdiffundieren können) auszuschließen, wurde eine Probe von außerhalb des Klebstoffbereiches längere Zeit Klebstoff ausgesetzt und anschließend deren Härte vermessen.

Um Hinweise auf mögliche chemische Unterschiede zu bekommen, wurden Infrarot Spektren von Proben beider Bereiche (unterhalb des Klebstoffes und ohne Klebstoffeinfluss) aufgenommen.

Es wurden zudem Querschnitte aus dem Rissbereich am Rande der Klebstoffraupen angefertigt und makroskopische sowie REM Aufnahmen des Rissbereiches angefertigt. Daneben wurde die Oberfläche der Dachbahnen mittels REM auf Rissigkeit analysiert, um den allgemeinen Effekt der Witterung und dessen Beeinflussung durch die aufgeklebten Wasserrohre zu charakterisieren.

5.2. Ergebnisse und Auswertungen

5.2.1. Lichtmikroskopie / Makroskopie

Eine lichtmikroskopische Analyse zeigt in den Rissbereichen, die an den Randbereichen des Klebstoffes zu finden sind, teilweise die Ausbildung von langen Fäden wie sie bei sehr duktilen Materialien auftreten (Abbildung 5.1).

Im Schnitt sind im Rissbereich stark abgerundete Einkerbungen zu erkennen, was ebenfalls auf sehr hohe Duktilität des gerissenen Materials hindeutet. Die Dicke der Dachbahn unterhalb des Klebstoffes beträgt bis zu 2,0 mm, während die Ursprungsdicke anhand des Neumaterials auf 1,6 mm bestimmt wurde. Diese Feststellung weist auf ein Aufquellen der Bahn unterhalb des Klebstoffes hin.



Abbildung 5.1: Makroskopaufnahme des Rissbereiches, die Pfeile markieren die zu erkennenden fadenförmigen Strukturen

5.2.2. Härtemessungen

Tabelle 5.1 zeigt die aus dem Härtediagramm berechneten Universalhärtewerte des Dachbahn-Materials. Es wurden an zwei Stellen je 5 Messungen (Messung 1 bis 5 und Messung 6 bis 10) unter dem Kleberstoff und entsprechend an zwei Stellen je 5 Messungen außerhalb des Klebstoffbereiches vorgenommen, sowie je 5 Messungen an Neumaterial und an Material mit simuliertem Klebstoffeinfluss. Bei den in Klammern stehenden Werten konnte (vermutlich aufgrund zu geringer Härte) kein gültiger Wert berechnet werden. In diesem Fall wurden die Einzelwerte bei Maximallast (300 mN) direkt abgelesen. Es ergibt sich eine mehrfach signifikant geringere Härte für das Material unter Klebstoffeinfluss.

Messung:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittel	StAbw
unter Klebstoff	(0,11)	(0,14)	0,27	0,23	0,21	0,24	0,18	(0,11)	(0,12)	0,18	0,17	0,063
ohne Klebstoff	0,82	0,58	1,02	0,55	1,11	0,89	0,61	0,69	0,82	0,88	0,80	0,181
Neumaterial (Referenz)	0,88	0,86	1,20	0,66	0,82	-	-	-	-	-	0,89	0,178
Simulation Klebstoff	0,28	0,32	0,36	0,29	0,37	-	-	-	-	-	0,32	0,034

Tabelle 5.1: Zusammenfassung der Härtemessungen in N/mm² Universalhärte

5.2.3. FTIR Analyse

Die Spektren je zweier Proben, die unter der Klebstoffbahn entnommen wurden zeigen eine leichte Erhöhung des Peaks bei Wellenzahl 1459 der klebstoffbeeinflußten Proben (siehe Abbildung 5.2). Dieser Peak ist einer Deformationsschwingung der Methylgruppen zuzuordnen.



Abbildung 5.2: FTIR Spektren je einer Probe unter dem Klebstoff und außerhalb des Klebstoffbereiches. (Die etwas deutlichere Ausprägung der Peaks des unteren Spektrums beruht auf leicht unterschiedlicher Probendicke. Daher wurden bei diesem Spektrum einige zusätzliche Peaks erkannt, die auch im oberen Spektrum in Ansätzen zu erkennen sind.)

5.2.4. REM Analysen

Abbildung 5.3 zeigt die auf den Dachbahnen mit bloßem Auge zu erkennenden hellen und dunklen Bereiche (außerhalb des Klebstoffbereiches) bei 20-facher Vergrößerung. Es sind deutlich weniger Risse im optisch (mit bloßem Auge) hell wirkenden Bereich zu erkennen, der durch zwei rote Linien sowie auf der linken Seite durch einen keilförmigen Einschnitt markiert ist.

Abbildung 5.4 zeigt den Rissanfang am Klebstoffrandbereich im Querschnitt. Es sind deutliche Abrundungen an der Spitze des Risses zu erkennen.



Abbildung 5.3: REM Aufnahme der Dachbahnenoberfläche (20x). Der optisch hell wirkende Bereich ist durch die roten Linien eingefasst. Es sind hier deutlich weniger Risse erkennbar.



Abbildung 5.4: Anfangsbereich eines Risses am Rande des Klebstoffes im Querschnitt

Nach den vorliegenden Ergebnissen liegt unterhalb des Klebstoffes eine erhebliche Veränderung der untersuchten Dachbahn gegenüber dem restlichen Bahnmaterial vor, die sich in einer mehrfach signifikant geringeren Härte sowie einem Aufquellen äußert. Eine FTIR Analyse des durch Klebstoff beeinflussten Materials ergab Unterschiede zum unbeeinflussten Material. Die Erweichungswirkung konnte in einem Simulationsversuch reproduziert werden, so dass kein Zweifel an einer direkten Verursachung der Erweichung durch den Klebstoff besteht.

Ein direkter Nachweis welcher Stoff des Klebstoffes diesen Effekt bewirkt, könnte über chromatographische oder massenspektroskopische Analysen von Restspuren der Zusatzstoffe in der Dachbahn erfolgen.



» Gesellschaft f ür Werkstoffpr üfung mbH



> Analytik





>Werkstoffprüfung



> Schadensanalyse





> Laborservices

- > Analytikum
- > Chemie & Korrosionslabor
- > Elektroniklabor
-) Gaslabor
- > Kunststofflabor
- > Materialografie

> Schadensanalyse

-) Airbag
- > Batterien
- > Baustoffe
- > Fraktographie
- > Heterogene Katalyse
- > Industrielle Prozesse und Produkte

- > Mikroskopie REM/LIM
- > Umweltsimulation
- > Werkstatt
- > Werkstoffprüfung
- > Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung
- > Korrosion
- > Kunststoffe
- > Medizintechnik
- > Metallische Gefüge
- > Oberflächentechnik
- Zerstörungsfreie Prüfung

> GWP Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH

- > Georg-Wimmer-Ring 25, D-85604 Zorneding/München > Fax +49 (0) 8106 994 111
- > Tel. +49 (0) 8106 994 110 > Mail info@gwp.eu

> Web www.gwp.eu

