

adhäsion **KLEBEN+ DICHTEN**

Das Fachmagazin für industrielle Kleb- und Dichttechnik

Marktübersicht

Hersteller und Verfahren
zum Klebstoffauftrag

K-Messe

Innovationen für das
Kleben und Dichten

Anlagen- und Gerätetechnik

Im automatisierten Labor neue
Klebstoffe entwickeln

Kleben von Verbundwerkstoffen

Zuverlässige Verbindung auf Schnee



Zuverlässige Verbindung auf Schnee

Skier sollen robust gegen Feuchtigkeit und Temperaturschwankungen sein und über eine lange Lebensdauer verfügen. Eine zuverlässige interlaminaire Haftung lässt sich in den Multimateriallaminaten mithilfe hochleistungsfähiger Mehrschichtklebefilme bilden. Sie reduzieren die Ausfallquote signifikant, indem sie Delaminationen zwischen Aluminium und glasfaserverstärktem Epoxidharz vermeiden.

Claude Hosotte, Ronny Ebling, Raphael Schaller

Der Ski dient bereits seit Jahrtausenden als Fortbewegungsmittel und ist sogar älter als das Rad. Die Verwendung von Skiern geht weit auf vorchristliche Zeiten zu-



Bild 1 > Ein typischer Ski: Ein Multimateriallaminat aus Holz, Aluminium, Stahl und Polymeren.

rück, wobei die ältesten Beweise aus dem Jahr 6000 vor Christus stammen. Felszeichnungen zeigen die frühere Verwendung von Skiern als Fortbewegungsmittel für die Jagd und den Warentransport auf [1]. Mit dem Übergang vom Transport zum Sportgerät erlebten Skier während der letzten 100 Jahre aus materialwissenschaftlicher Perspektive eine bemerkenswerte Entwicklung. Aus simplen, klobigen Holzplatten entstanden über die Zeit moderne Hochleistungslaminat (*Bild 1*). Letztere bestehen aus verschiedenen, miteinander verbundenen Materialien und sorgen für Fahrkomfort, Leistungsfähigkeit und weniger Gewicht [2].

Die Multimateriallaminatkonstruktion ist bis heute der am weitesten verbreitete Aufbau für Skier und wurde um 1950 von Howard Head, einem Flugzeugingenieur und Designer, eingeführt [3]. Er hatte damals das Prinzip des I-Trägers verwendet, bei dem ein leichter Kern mit steifen Ober- und Untergurten verbunden wurde. Head leistete damit Pionierarbeit und baute den sogenannte Head Standard, der aus Aluminiumgurten, Holzkern, Stahlkanten und Polymerlauflächen bestand [4]. In den 1960er Jahren folgte Rossignol

und lancierte das erste millionenfach verkaufte Skimodell: den Strato Ski [5]. Mit Epoxidharz, welches auch die einzelnen Komponenten zusammenhält, führte Rossignol eine weitere Materialklasse in den Aufbau eines Skis ein (*Bild 2*).

Allein das Verbinden dieser unterschiedlichen Materialien mit unterschiedlichen Polaritäten und Wärmeausdehnungskoeffizienten stellt eine große Herausforderung dar. Dazu muss ebenfalls berücksichtigt werden, dass Skier starken Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, was oft zur Delamination zwischen den verschiedenen Komponenten führt, besonders zwischen Aluminium und Epoxidharz.

Ausfälle wegen tiefer Haftung

Die Delamination stellt Skierhersteller immer wieder auf die Probe. Ein aktuelles Beispiel ist ein neues Skimodell des Start-up-Unternehmens Anavon, bei dem es zur Delamination zwischen Aluminium und Epoxidharz gekommen ist. Im Herstellungsprozess wurde sorgfältig gearbeitet und auf mögliche Fehlerquellen geachtet. Faktoren wie das Anschleifen der Alumi-

niumoberfläche, das sorgfältige Reinigen, trennmittelfreie Prozesse sowie die klimatischen Bedingungen während der Produktion wurden berücksichtigt, genauso wie die Verwendung einwandfrei gelagerter Glas-Epoxidharz-Prepregs. Dennoch kam es immer wieder zu willkürlichen Ausfällen der Skier durch Delamination.

In *Bild 3* (links) ist gut sichtbar, dass sich der Aluminiumobergurt vom Unterbau des Skis im Bereich der Schaufel abgelöst hat. Ein anderes charakteristisches Bild einer tiefen interlaminaeren Haftung im Verbundwerkstoff zeigt *Bild 3* (rechts). An den Bohrlöchern zur Befestigung der Bindung entstanden durch das Bohren kreisrunde Delaminationsmarkierungen. Diese typischen Markierungen tauchen bei punktuellen Stoßbelastungen in Mehrschichtlaminaten auf und werden markanter, je schwächer die Haftung zwischen den einzelnen Lagen ist [6]. Die wenigen Rückstände auf dem Obergurt und auf dem Epoxidharz sind weitere Indikatoren der tiefen Adhäsion zwischen Aluminium und Epoxidharz.

Um die Form und damit das Fahrverhalten des Skis nicht komplett zu ändern, wurden Kenntnisse aus Anwendungen der Automobilindustrie verwendet, um eine Verbesserung der Haftung zwischen Aluminium und Epoxidharz zu finden. Im Fahrzeugbau wird für die Herstellung von Metall-Kunststoff-Hybridbauteilen das Metall vor dem Hinterspritzen mit einem thermoplastischen Hochleistungsklebefilm beschichtet. Übertragen auf die Skierherstellung können hier Aluminiumgurte vorgängig mit Klebefilmen beschichtet werden, bevor sie im Standardprozess verarbeitet werden.

Verfahren aus der Automobilindustrie

Materialien wie zum Beispiel Metalle und Polymere können stoffschlüssig durch die Verwendung eines Mehrschichtklebefilmes verbunden werden. Die Klebefilme funktionieren ohne aufwendige Vorbehandlung der Metalloberfläche durch Primern, Strukturieren, Behandeln mit Plasma oder eine Kombination davon. Das sogenannte Hinterspritzen ermöglicht die erschwingliche und effiziente Herstellung von strukturellen oder dekorativen Metall-Kunststoff-Hybridbauteilen für die Automobilindustrie [7][8]. In diesem Fall besteht der Prozess im Wesentlichen aus drei Schritten:

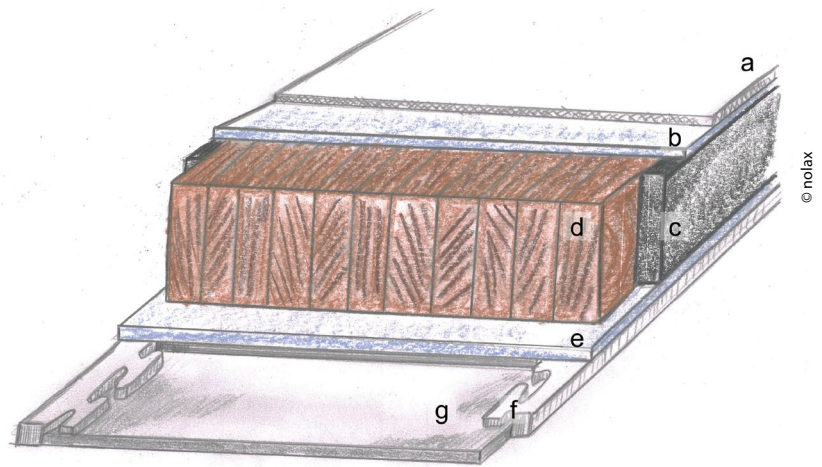


Bild 2 > Schematische Darstellung eines Skiaufbaus: a) Deckblatt, b) Obergurt, c) Seitenwand, d) Kern, e) Untergurt, f) Kante und g) Lauffläche bestehen aus unterschiedlichen Materialien. Ab den 1960er Jahren wird weitgehend Epoxid (als Flüssigharz oder als Prepreg) zum Verbinden dieser Komponenten für die Skierherstellung verwendet.

- Die Oberfläche eines Metallblechs wird bei erhöhter Temperatur und unter Druck in einer Flachbettkaschieranlage oder einem Doppelbandkalander mit einem Klebefilm beschichtet.
- Falls die Metallbleche vor dem Beschichten nicht schon in Form gebracht worden sind, können diese in gängigen Stanz- und Umformprozessen verarbeitet werden.
- Die beschichteten und geformten Metallteile werden in ein Spritzgusswerkzeug eingelegt. Der Kunststoff wird direkt auf die Beschichtung gespritzt und der Klebefilm so aktiviert.

Wie beim Hinterspritzen von Metall können Aluminiumbleche für die Skierherstellung vorgängig mit Klebefilmen auf einer Flachbettkaschieranlage beschichtet und

anschließend zu Multimateriallaminaten in einer Skipresse verarbeitet werden. Der Klebefilm bildet dabei die ideale Brücke und schafft eine zuverlässige interlaminaere Haftung zwischen den verschiedenen Materialien. Vor der Weiterverarbeitung schützen die Klebefilme als Beschichtung das Aluminium vor Schmutz, Beschädigung oder Oxidation. Die beschichteten Aluminiumbleche sind so bis zu zwei Jahre bei Raumtemperatur lagerstabil. Durch die hohe Elastizität können Klebefilme die Spannungen in der Grenzfläche zwischen Aluminium und glasfaserverstärktem Epoxidharz auffangen, die durch verschiedene Wärmeausdehnungskoeffizienten hervorgerufen werden. Klebefilme sind zäh und langlebig und halten multiplen Klimawechselzy-

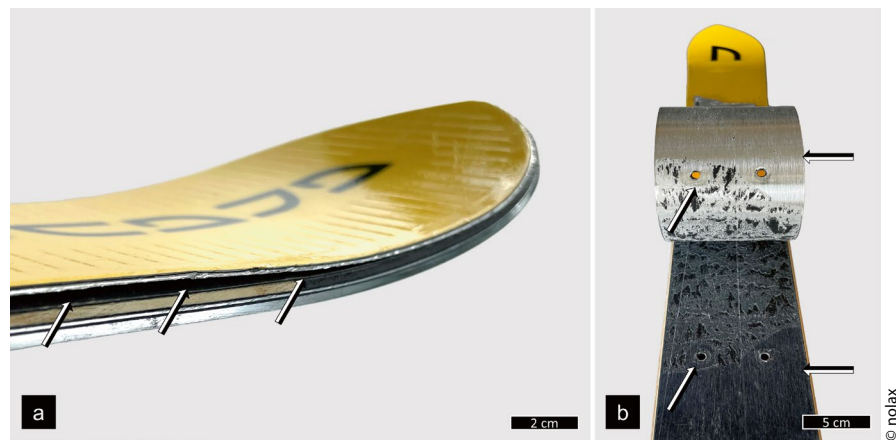


Bild 3 > a) Delamination an der Schaufel eines gebrauchten Skis (siehe Pfeile), b) größtenteils adhesives Ausfallverhalten zwischen Aluminium und Epoxidharz beim Ablösen des Aluminiumobergurts (siehe Pfeile)



Bild 4 > Seitenansicht des Multimateriallaminats ML-1. Materialien von oben nach unten: Deckblatt aus Copolyamid, Aluminiumobergurt, Neoprengummi, Eschenkern, Neoprengummi, Aluminiumuntergurt, Eschenschnittfurnier, Laufflächen aus ultrahochmolekularem Polyethylen

	Vorbehandlung Aluminium	Bemerkungen/Details
ML-1	Angeschliffen und gereinigt	Referenz
ML-2	Glatt und ungereinigt	Das Aluminium ist im Lieferzustand verarbeitet worden.
ML-3	Glatt, ungereinigt und beschichtet mit TPU-Klebefilm	Der TPU-Monofilm Nolax A21.4502 mit 50 g/m ² ist bei 170 °C mit einer Flachbettkaschieranlage auf das Aluminium aufgetragen worden.
ML-4	Glatt, ungereinigt und beschichtet mit TPU/PE-Klebefilm	Die PE-Seite des Mehrschichtklebefilms Nolax A22.5010 mit 50 g/m ² ist bei 170 °C mit einer Flachbettkaschieranlage auf das Aluminium aufgetragen worden. Im Verbund liegt die TPU-Seite auf dem Epoxidharz.

© nolax

Tabelle 1 > Übersicht der hergestellten und geprüften Multimateriallamine (ML). Der Aufbau und die Herstellung der Lamine sind identisch. Die Vorbehandlung des Aluminiums variiert.

klen stand. Eine sorgfältige Abstimmung der Chemie der Klebefilme sorgt für eine optimale Benetzung beim Klebeprozess und verhindert die Unterwanderung von Wasser entlang der Grenzflächen von Aluminium und glasfaserver-

stärktem Epoxidharz in der Anwendung. Weiter können Klebefilme – weil sie in diesem Fall thermoplastisch sind – während des Standardprozesses für die Skisherstellung thermisch aktiviert und verarbeitet werden.

Herstellung von Multimateriallaminen

Um die Adhäsion zwischen Aluminiumgurt und Epoxidharz zu untersuchen, wurden vier Multimateriallamine hergestellt. Die Konstruktion der Multimateriallamine (*Bild 4*) blieb unverändert und unterschied sich nur in der Vorbehandlung des Aluminiums (*Tabelle 1*). Beim verwendeten Aluminiumblech mit einer Dicke von 0,4 mm handelte es sich um eine hochfeste Legierung mit circa 1,7 % Kupfer-, 2,5 % Magnesium-, 7,0 % Zink- und 0,1 % Zirkonanteil. Als Holzkern wurde eine 3,0mm dicke Platte aus Esche verwendet. Das verwendete Prepreg mit einer Dicke von 0,5mm bestand aus einem Glasvlies mit einem Epoxidharzanteil von circa 40 Masse-%. Weitere verwendete Materialien sind folgende: 0,5mm Deckblatt aus Copolyamid, 0,2mm Neoprengummieinlagen, 0,1mm Esche Schnitffurnier und 1,7mm dicke Laufflächen aus ultrahochmolekularem Polyethylen.

Das Aluminiumblech für die Herstellung der Lamine wurde angeschliffen und mit Isopropanol gereinigt (Referenz ML-1), glatt im Lieferzustand (Laminat ML-2) oder glatt im Lieferzustand mit Klebefilm beschichtet und anschließend verwendet. Es wurden zwei verschiedene Klebefilme eingesetzt. Um eine definiert schlechte Haftung zu provozieren und zu untersuchen, wurde das Aluminium mit einem Klebefilm bestehend aus nur einer Schicht (Monoklebefilm) thermoplastischen Polyurethans (TPU) beschichtet; in diesem Fall das Produkt Nolax A21.4502 mit einem Flächengewicht von 50 g/m². Dieser Klebefilm kann nur eine gute Haftung zum Epoxidharz aufbauen (Laminat ML-3). Damit eine hohe Haftung zwischen den verschiedenen Substraten erzielt werden kann, wurde der Klebefilm Nolax A22.5010 mit einem Flächengewicht von 50 g/m² eingesetzt. Dieser besteht aus mehreren Lagen (Mehrschicht-

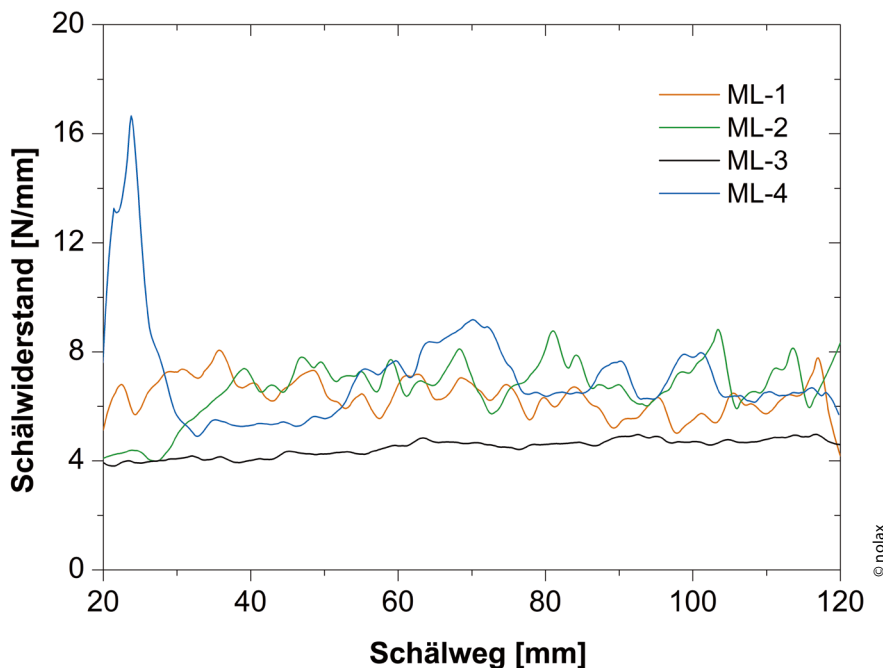


Bild 5 > Initiale Verbundfestigkeit der Multimateriallamine aus dem 90°-Abzugsversuch (DIN EN 1372)

klebefilm): einer Lage TPU für eine gute Anbindung an das Epoxidharz und einer Lage funktionalisiertem Polyethylen (PE), das für eine gute Haftung auf Aluminium sorgt (Laminat ML-4).

Wo ein Klebefilm verwendet wurde, erfolgte der Auftrag auf das unbehandelte Aluminium vorgängig auf einer Flachbettkaschieranlage der Firma Meyer. Die Aluminiumbleche wurden davor nicht angeschliffen oder gereinigt. Das Beschichten geschah bei Temperaturen von 160 bis 170 °C und einem Druck von 1,5 bar, mit anschließendem Abkühlen auf etwa 25 bis 30 °C und bei einer Geschwindigkeit von 1 m/min.

Die Herstellung der Lamine in A4-Größe erfolgte auf einer Skipresse der Firma Langzauner während eines mehrstufigen Prozesses:

- Aufheizen auf $T = 100\text{ °C}$
- Vorfixieren bei $T = 100\text{ °C}$ und $p = 1\text{ bar}$ über $t = 8\text{ min}$
- Verpressen bei $T = 120\text{ °C}$ und $p = 20\text{ bar}$ über $t = 20\text{ min}$
- Abkühlen auf etwa $T = 30\text{ °C}$.

	Maximaler Schälwiderstand	Mittlerer Schälwiderstand	Ausfallverhalten
-	N/mm	N/mm	-
ML-1	9.8 ± 0.7	6.3 ± 0.4	Kohäsiv im Epoxidharz
ML-2	8.9 ± 0.5	6.4 ± 0.1	Kohäsiv im Epoxidharz
ML-3	6.4 ± 2.2	4.1 ± 1.0	Adhäsiv zu Aluminium
ML-4	16.4 ± 2.2	7.5 ± 1.0	Kohäsiv im Holzkern

© nolax

Tabelle 2 > Übersicht der initialen maximalen und mittleren Schälwiderstände der Lamine. Die Öffnung zum Aufschälen liegt zwischen Aluminiumobergurt und glasfaserverstärktem Epoxidharz.

Aus den 8 mm dicken A4-Laminaten wurden zuerst 260 mm lange und 20 mm breite Prüflinge mit einer Bandsäge herausgesägt. Die Prüflinge wiesen nach dem Sägen keine Delamination auf. Die 90°-Abzugsversuche vor und nach Klimawechselbelastung wurden nach sieben Tagen Lagerung bei 20 °C Umgebungstemperatur und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit durchgeführt. Die Öffnung zum Aufschälen der Lamine befand sich zwischen dem Aluminiumobergurt und der Schicht

glasfaserverstärktem Epoxidharz auf dem Holzkern.

Untersuchen der Multimateriallamine

Bild 5 zeigt den initialen Schälwiderstand gegen den Schälweg der Multimateriallamine. Der Schälwiderstand wurde durch einen 90°-Abzugsversuch (nach DIN EN 1372) mit einer Universalprüfmaschine der Firma Instron mit einer Prüf-

Einfach Bockstark: Unsichtbare Verklebung von Carbonteilen mit hoher Temperaturbeständigkeit.



KLEBEN + DICHTEN + VERGIESSEN

UNSIHTBARE KLEBEFUGE + TEMPERATURBESTÄNDIGKEIT

Gerade wenn es um Prozessoptimierung, Gewichtsreduktion, Langlebigkeit, Geräuscharmheit und optimiertes Wärmemanagement von Elektromotoren geht, bieten Kisling Klebstoffe und wärmeleitfähige Vergussmassen ungeahnte Potentiale. Unsere Produkte bieten jede Menge neue Realisierungsmöglichkeiten und verhelfen Ihnen damit, ein neues, nie dagewesenes Produktlevel zu erreichen. Ob aus unserem Standardsortiment oder ganz individuell und kundenspezifisch. Neugierig geworden? Wir beraten Sie gerne. www.kisling.com

Kisling

MEMBER OF THE WURTH GROUP

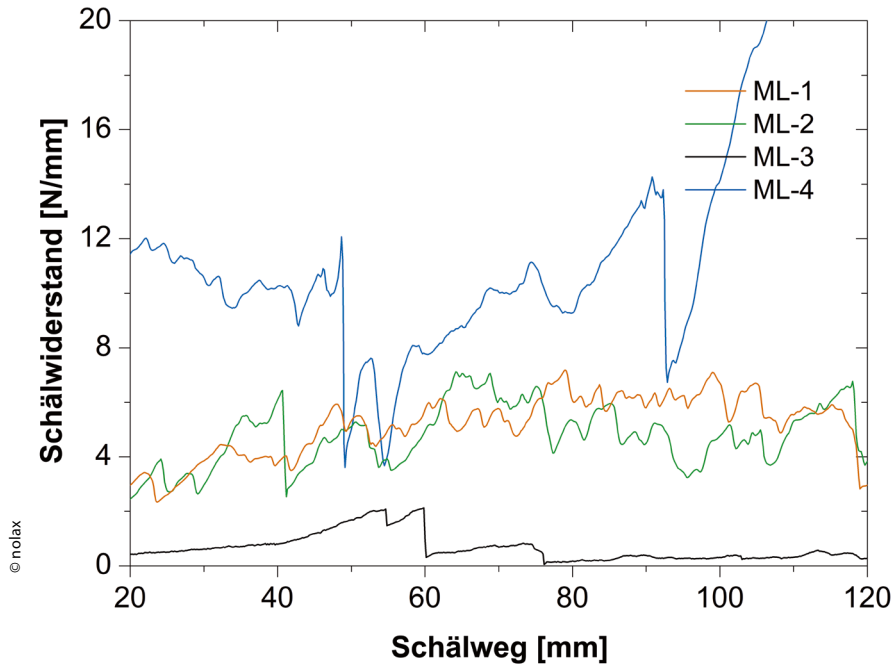


Bild 6 > Verbundfestigkeit der Laminat aus dem 90°-Abzugsversuch (DIN EN 1372) nach Klimawechselbelastung (VW PV 1200)

geschwindigkeit von 100 mm/min ermittelt, ebenfalls bei 20 °C Umgebungstemperatur und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit. Im Vergleich zu den Aluminiumgurten, welche direkt im Lieferzustand und ohne Vorbehandlung verarbeitet wurden, zeigte das aufwendige Anschleifen und Reinigen des Aluminiums wenig Haftungsverbesserung im Verbund. Der mittlere Schälwiderstand lag bei beiden Laminaten ML-1 und ML-2 bei knapp 6,5 N/mm. Lediglich der initiale maximale Schälwiderstand zeigte einen merklichen Unterschied und stieg von $8,9 \pm 0,5$ N/mm auf $9,8 \pm 0,7$ N/mm, wenn das Aluminium angeschliffen wurde. In beiden Fällen entstand beim Aufschälen das gleiche Ausfallverhalten mit einem kohäsiven Bruch im glasfaserverstärkten Epoxidharz. Um eine definiert schlechte Haftung zu erlangen und zu un-

tersuchen, wurde bei einem weiteren Laminat ML-3 das Aluminium zuvor mit einem TPU-Klebefilm mit einem Flächengewicht von 50 g/m² beschichtet. Ermittelt wurden hier die tiefsten Werte von $4,1 \pm 1,0$ N/mm und $6,4 \pm 2,2$ N/mm für die mittleren und maximalen Schälwiderstände mit einem adhäsiven Ausfallverhalten zum Aluminium. Es gab keine Rückstände des TPU-Klebefilms auf dem Aluminium. Die initiale Haftung war ausreichend, da beim Zuschneiden des Laminats in Prüflinge keine Delamination auftrat. Wurde, wie im Fall von Laminat ML-4, vor der Herstellung des Laminates das Aluminium mit einem TPU/PE-Mehrschichtklebefilm mit einem Flächengewicht von 50 g/m² (und PE-Seite gegen das Aluminium) beschichtet, wurden die besten Werte erzielt mit mittleren und maximalen

Schälwiderständen von $7,5 \pm 1,0$ N/mm, respektive $16,4 \pm 2,2$ N/mm. Die Haftung zwischen Aluminium und Epoxid konnte derart verbessert werden, dass der Riss in den Holzkern geleitet werden konnte. Die Resultate der initialen Schälwiderstände sind in *Tabelle 2* zusammengefasst. Um die strengen Feuchtigkeits- und Temperaturbelastungen von Skiern zu simulieren und deren Einfluss zu testen, wurden die Prüflinge der Multimateriallaminat einer Klimawechselbelastung nach der Konzernnorm von Volkswagen, der sogenannten VW PV 1200, unterzogen. Die 260×20 mm² (Länge \times Breite) großen Prüflinge wurden in einem Klimaschrank der Firma Weiss mit 20 Zyklen wechselnder Temperatur und Luftfeuchtigkeit ausgesetzt. Ein Zyklus dauerte 12 h mit minimaler Temperatur und Luftfeuchtigkeit von $T_{\text{MIN}} = 40$ °C und $RH_{\text{MIN}} = 0$ % und maximaler Temperatur und Luftfeuchtigkeit von $T_{\text{MAX}} = 80$ °C und $RH_{\text{MAX}} = 80$ %. Die Resultate der 90°-Abzugsversuche nach Klimawechselbelastung sind in *Bild 6* und *Tabelle 3* zusammengefasst. Wurden die Aluminiumgurte wie bei den Laminaten ML-1 und ML-2 angeschliffen und gereinigt beziehungsweise im Lieferzustand verwendet, verschlechterte sich der Schälwiderstand um etwa 25 % nach der VW PV 1200-Auslagerung. Die maximalen und die durchschnittlichen Schälwiderstände liegen bei circa 7,0 N/mm und 5 N/mm. Vor der Durchführung der 90°-Abzugsversuche konnten bei den

	Maximaler Schälwiderstand	Mittlerer Schälwiderstand	Ausfallverhalten
-	N/mm	N/mm	-
ML-1	$7,0 \pm 0,2$	$4,8 \pm 0,1$	Mischbruch: Adhäsiv zu Aluminium und Kohäsiv im Epoxidharz
ML-2	$7,1 \pm 0,1$	$4,9 \pm 0,4$	Mischbruch: Adhäsiv zu Aluminium und Kohäsiv im Epoxidharz
ML-3	$1,8 \pm 0,3$	$0,1 \pm 0,01$	Fehlen von struktureller Kohärenz
ML-4	$35,3 \pm 5,0$	$11,0 \pm 2,4$	Strukturell mit Multimaterialversagen

Tabelle 3 > Übersicht der maximalen und mittleren Schälwiderstände der Laminat nach Wechselklimabelastung (VW PV 1200). Die Öffnung zum Aufschälen liegt zwischen Aluminiumobergurt und Glas-Epoxidharz.

Prüflingen schon erste Delaminierungen entlang des Aluminiums und des Epoxidharzes festgestellt werden. Das Bruchbild nach dem Schälren zeigte einen Mischbruch adhäsiv zum Aluminium und kohäsiv im Epoxidharz.

Die eben genannten Schälwiderstände liegen ebenfalls nahe des Initialwerts von ML-3, wie das Laminat mit dem Aluminium, das mit dem TPU-Klebefilm beschichtet wurde. Das Laminat ML-3 verlor nach der Klimawechselbelastung die strukturelle Kohärenz, wodurch Wasser zwischen die Grenzflächen von Aluminium und TPU-Klebefilm eindrang und Delaminationen provozierte. Zum Teil fielen diese Prüflinge schon im Klimaschrank auseinander.

Signifikant verbesserten sich die Prüflinge aus Laminat ML-4, bei dem das Aluminium mit dem TPU/PE-Mehrschichtklebefilm Nolax A22.5010 vorbeschichtet wurde. Nach der Klimawechselauslagerung verbesserte sich der durchschnittliche und der maximale Schälwiderstand um 50 %, respektive, 100 % zum initialen Wert. Die Schälwiderstände wurden bei $11,0 \pm 2,4 \text{ N/mm}$ und $35,3 \pm 2,2 \text{ N/mm}$ ermittelt. Die Prüflinge erliegen einem Multimaterialversagen bis hin zum Riss im Aluminium.

Bild 7 zeigt eine bildliche Zusammenfassung zum Versagensverhalten von ML-1, ML-2, ML-3 und ML-4 vor und nach der Klimawechselbelastung.

Gute Benetzung und hohe Elastizität

Es konnte festgestellt werden, dass ein angeschliffener Aluminiumgurt im Vergleich zu einem glatten keine großen Haftungsverbesserungen mit sich bringt. Nach der Klimawechselbelastung reduzierte sich der Schälwiderstand bei beiden markant. Es konnte bei den Multimateriallaminaten ML-1 und ML-2, hergestellt mit dem angeschliffenen oder dem glatten Aluminium, schon partielle Delaminationen beobachtet werden. Das Anschleifen von Oberflächen muss demnach nicht zwingend zu einer zuverlässigen Haftung führen [9]. Damit kann das aufwendige Anschleifen und Reinigen des Aluminiums eingespart werden. Wenn die Haftung auf einem tiefen Niveau und beim initialen 90°-Abzugsversuch adhäsives Versagen aufweist, kann es später leicht zur Unterwanderung von Wasser und zu Delaminationen kommen, wie es zum Beispiel beim Aluminium des

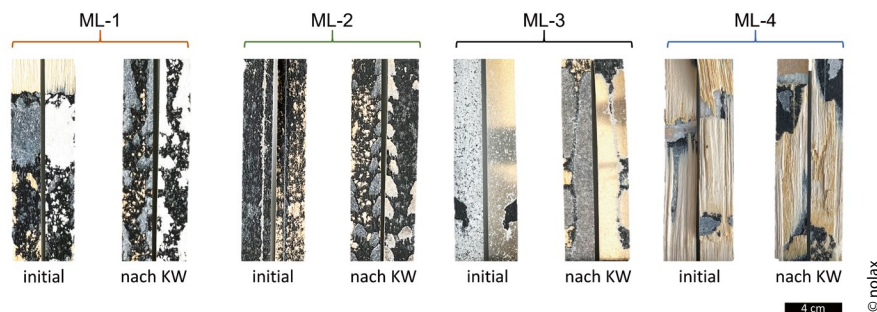


Bild 7 > Versagensverhalten beim 90°-Abzugsversuch von ML-1, ML-2, ML-3 und ML-4 vor (initial) und nach Klimawechselbelastung (nach KW). Bei den Prüflingen ist jeweils der Unterbau (links) und der Oberbau (rechts) zu sehen.

Laminats ML-3 der Fall war. Um eine starke Haftung zwischen Aluminium und Epoxidharz zu erzielen, kann ein TPU/PE-Mehrschichtklebefilm, wie beim Laminat ML-4, verwendet werden. Wird der Mehrschichtklebefilm mit der PE-Seite zuerst auf das Aluminiumblech aufgebracht, ist die Benetzung auf Aluminium so gut, dass später in der Anwendung Wasser nicht die Grenzflächen unterwandern kann. Außerdem baut die TPU-Seite eine starke Haftung zum Epoxidharz auf. Der elastische Klebefilm hat zusätzlich das Vermögen, die Spannung von Temperaturwechseln beim Skifahren und die verschiedenen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Aluminium und Epoxidharz aufzufangen.

Ausblick

Um eine zuverlässige interlaminare Verbindung im Ski zu erreichen, sollte auf eine optimale Benetzung und auf eine elastische Grenzfläche zwischen artfremden Materialien, wie Metallen und Polymeren, geachtet werden. Dies kann mit einem Mehrschichtklebefilm, wie dem Produkt Nolax A22.5010 mit einem Flächengewicht von 50 g/m^2 , realisiert werden, der eine bestmögliche Brücke zwischen Aluminium und glasfaserverstärktem Epoxidharz bildet. Zudem macht der Klebefilm die Skier robuster gegen Feuchtigkeitsschwankungen und Temperaturschwankungen, erhöht die Lebensdauer und reduziert deutlich die Ausfallquote bezüglich Delamination. //

Danksagung

Die Autoren danken Anavon, besonders David Cathomen und René Zählner, für den angeregten Austausch und für die Benutzung der Geräte. Ein weiteres Dankeschön geht an das Nolax-Team, besonders

an Helene Sidler und Bruno Traber sowie an Tamara Büchel für die Unterstützung beim Erstellen dieses Beitrags. //

Literaturhinweise

- [1] Roland Huntford: Two Planks and a Passion: The Dramatic History of Skiing; Chapter 2; Continuum, London & New York, 2008
- [2] Stefano Melzi, Edoardo Belloni, Edoardo Sabbioni: The Engineering Approach to Winter Sports, Chapter 4; Springer, New York, 2016
- [3] Mortem Lund, Seth Masia: Ski Magazine, Vol. 50, Nr. 5, S. 115-124, 1986
- [4] Howard Head, US Patent 2.995.379; 1961
- [5] Rossignol: Skiing, Vol. 21, Nr. 3, S. 110, 1968
- [6] Hao Yan, Caglar Oskay, Arun Krishnan, Luoyu Roy Xu: Composite Science and Technology, Vol. 70, Nr. 14, S. 2128-2136, 2010
- [7] Thomas Frey: adhäsion Kleben & Dichten; Ausgabe 11, Nr. 3, S. 26-30, 2021
- [8] Rebecca Cardnell, Thomas Frey: Adhesion Adhesives + Sealants, Vol. 1, Nr. 1, S. 10-14, 2022
- [9] Steven Abbott: Sticking Together, The Science of Adhesion, Chapter 3, Royal Society of Chemistry, Croydon, 2020

Das Autorenteam

Claude Hosotte

Ronny Ebling

Raphael Schaller

– korrespondierender Autor –

raphael.schaller@nolax.com

Nolax AG, Sempach Station (Schweiz)