

Klebefilme zur Herstellung von Aluminiumwabenplatten

Minimaler Materialeinsatz ohne Leistungsverzicht!

Dank geeigneter Klebefilme lassen sich in Verbindung mit einer besonderen Prozesstechnik Aluminiumwabenplatten herstellen, die im Vergleich zu heutigen Standards wesentlich höhere Schälfestigkeiten aufweisen. Untersuchungen haben ergeben, dass die Schälfestigkeit unter Klimawechselbelastung nicht ab-, sondern in bestimmten Fällen sogar zunimmt, so dass auf diese Weise hergestellte Aluminiumwabenplatten auch für den Aussenbereich geeignet sind.

Die zentrale Forderung bei der Herstellung von Aluminiumwaben ist die effiziente Applikation von Klebstoff an die jeweils richtige Stelle. Da die Waben aber nur sehr geringe Kontaktflächen zum Deckblech besitzen, muss in diesem Kontext der Kraftübertragung von der Wabenkante zur Deckschicht grosse Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Bisher trug man der Einfachheit halber den Klebstoff auf das Deckblech auf und platzierte den Wabenkern in den Klebstoff – man spricht auch vom Einbetten der Stege. Eindeutiger Nachteil dieser Methode ist allerdings, dass sich mehr als 90% des Klebstoffs am falschen Platz befindet, auch wenn durch rheologische Tricks eine Meniskusbildung an der Wabenkante erreicht werden kann. Die Klebstoffbelegung im gesamten Wabenzellhohlraum zeigt keinerlei Nutzen, sondern wirkt sich sogar nachteilig aus, weil zu hohe Klebstoffkosten entstehen und die brennbare Masse unnötig gesteigert wird. Zudem ergeben sich in den meisten Fällen auch negative Einflüsse auf die Verbundfestigkeit, wenn die Kraftübertragung unproduktiv oder falsch erfolgt. Probleme entstehen in diesem Zusammenhang immer dann, wenn an die Wabenplatten hohe Anforderungen an die Brandbeständigkeit, Verbundfestigkeit, Dauerhaftigkeit, Witterungsbeständigkeit und Schlagfestigkeit gestellt werden. Solche Ansprüche sind nur dann erfüllbar, wenn die Wabenkanten optimal im Klebstoff eingebettet sind und der Klebstoff selbst duktil ist.

Um nun den Anforderungen nach einer leistungsstarken und effizienten Herstellmethode von Aluminiumwabenplatten gerecht zu werden, wurde ein System entwickelt, bei dem sich der Klebstoff aus einer Klebfilmfläche heraus auf die Zellkanten konzentriert wird (Bild 1).

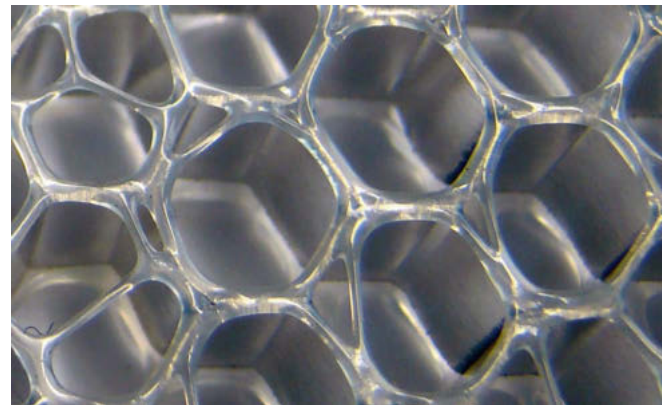


Bild 1: Klebfilmkonzentration auf Aluminiumwabenkanten.

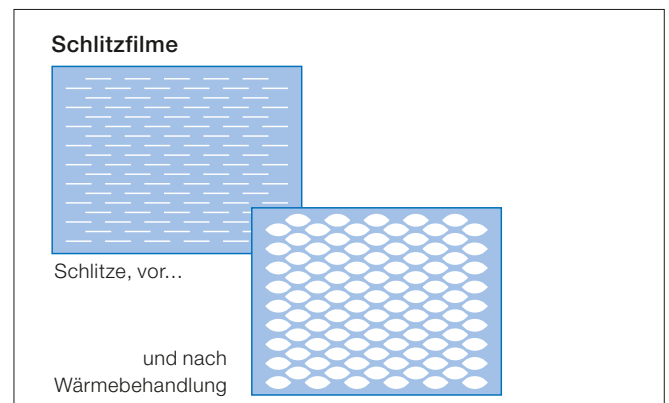


Bild 2: Schlitzöffnung während der Film-Wärmebehandlung.

Dank der neuen Methode gelingt es, die Klebstoffkonzentration so effektiv zu gestalten, dass mit der halben Klebstoffmenge die 3–5 fache Festigkeit erreicht werden kann – vorausgesetzt, die Rheologie im geschmolzenen Zustand stimmt, d.h. die Haftung zum Untergrund und die mechanische Klebstoffleistung sind optimal aufeinander abgestimmt.

Einfache Methode

Das Verfahren beruht auf einem entsprechend präparierten Film, der sehr viele kleine Perforationsschlitze enthält, die sich nach dem Erhitzen auf die Schmelztemperatur, oder ein wenig darüber öffnen, so dass sich ein Klebstoffnetz bildet (Bild 2). Die Herausforderung liegt darin, diese Netzbildung so zu lenken, dass es deckungsgleich auf die Wabenstruktur aufgetragen wird. Dafür müssen folgende Grundbedingungen erfüllt sein:

1. Der Film muss frei auf dem Wabenkern liegen
2. Der Film muss bi-axial gereckt sein, d.h. es muss eine homogene Polymermolekülorientierung in der Fläche vorliegen
3. Der Film muss ein Schlitzmuster enthalten

Das «Geheimnis» dieser Verklebungsmethode ist, dass sich der Klebstoff in dem Moment den Weg zum Steg automatisch sucht, in dem die Wärmeübertragung auf den Klebfilm stattfindet. Allerdings muss der Prozess so angepasst werden, dass die erwähnten Bedingungen erfüllt sind. Dazu bedarf es vor dem Industrieinsatz einer aufwändigen aber lohnenden Prozessoptimierung.

Ein Vergleich der Verbundfestigkeiten mit anderen Klebtechniken zeigt, dass mit dieser neuen Methode Alu- und Stahlwabenpaneele äusserst effektiv herstellbar sind. So können wesentlich bessere Schälfestigkeiten erzielt werden als bei bisherigen Aluwabenplatten, aber auch die Biegefestigkeiten sind mit den herkömmlichen Wabenplatten vergleichbar und selbst die Kriechfestigkeit bei erhöhten Temperaturen reicht meistens aus. Die resultierenden Festigkeiten selbst auf unbehandeltem Metall sind erstaunlich und Ziehöl vermögen diese Leistung nicht zu schmälern, da deren Verträglichkeit mit den apolaren Klebefilmen hervorragend ist.

Witterungsbeständigkeit

Fassadenplatten sind besonders stark und besonders lang Witterungseinflüssen ausgesetzt. Um zu prüfen, ob die mit der neuen Methode hergestellten Platten den steigenden klimatischen Umweltbelastungen gewachsen sind, wurden Klimawechseltests durchgeführt, die sowohl feucht-heisses Klima, als auch sehr tiefe Temperaturen beinhalten – und dies in sehr schneller Abfolge. Diese beschleunigte Alterung erfolgte 3 Monaten lang. Darüber hinaus wurden die Wabenplatten ebenfalls ein Monat lang einem permanenten Salzsprühnebel ausgesetzt, der zwar der unbehandelten Aluminiumoberfläche zusetzte, jedoch keine Unterwanderung der Klebschicht zur Folge hatte und auch keine Delaminationen verursachte. Auch diese harschen Bedingungen haben die ausgezeichnete Verbundfestigkeit des Deckblechs auf dem Wabenkern nicht beeinträchtigt (vgl. Bild 8).

Erreichbare Festigkeiten

Für die Festigkeitsuntersuchungen wurden sechs verschiedene Klebfilme mit ca. 100 g/m² verwendet. In jedem Fall handelt es sich um olefinische Filme, die mit MAH (Maleinsäureanhydrid) modifiziert sind. Die Schmelzbereiche unterscheiden sich nach Grad der Co-Polymerisierung und der chemischen Natur der Grundkette und liegen zwischen 80 °C und 160 °C. Alle Filme zeigen eine hervorragende Haftung auf unbehandeltem Metall, unterscheiden sich aber in ihrer Rheologie im geschmolzenen Zustand und im plastischen Verformungspotenzial im festen Zustand – Parameter, welche die Verbundfestigkeit im Wesentlichen beeinflussen. Die Eigenschaften der Filme sowie deren

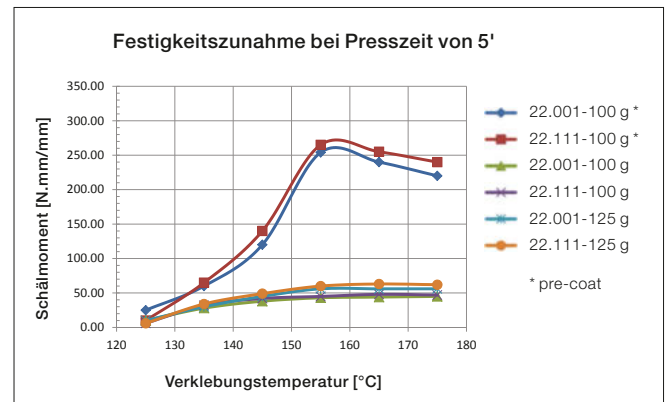


Bild 3: Festigkeitsverlauf für verschiedene Prozesstemperaturen.

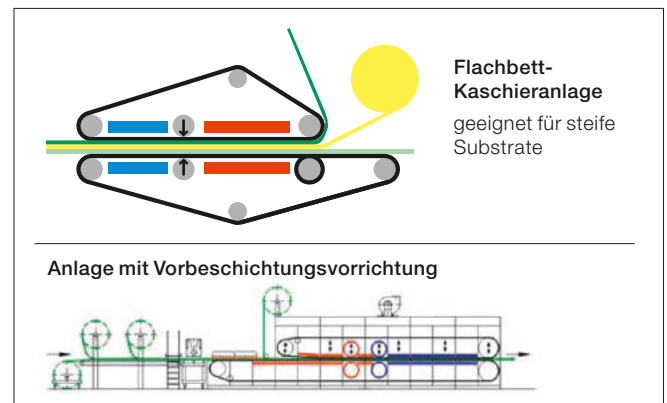


Bild 4: Schematische Darstellung des kontinuierlichen Verklebungsverfahrens, das bei Bedarf auch diskontinuierlich mit beheizten Etagenpressen erfolgen kann.

Wabenverklebung sind in Tabelle 1 dargestellt. Bei dem Versuch, die optimale Prozesstemperatur bei gegebener Prozesszeit zu bestimmen, hilft Bild 3, aus der das Maximum der Festigkeitskurve und damit ein optimales Prozess-Temperaturfenster entnommen werden können.

Vergleicht man die Festigkeitswerte von nicht vorbeschichteten mit vorbeschichteten (pre-coat) Wabenkernen (Bild 3) und die plastische Verformung der Klebschicht beim Abschälen der Deckschicht (Bild 5 und 6), wird deutlich, dass die Einbettung der Wabenkante im Klebstoff mit dem Vorprozess wesentlich bessere Ergebnisse liefert. In Bild 4 werden die Anlagen der unterschiedlichen Verfahren schematisch gezeigt.

Wird jedoch bei gegebener Prozesstemperatur die optimale Prozesszeit gesucht, dann nähern wir uns asymptotisch mit der Zeit an die höchsten Verbundfestigkeiten, d.h. es hängt stark von der Temperatur ab, wie schnell die nötige Prozesszeit erreicht wird. Wie sich die Prozesszeit eruiieren lässt, wenn zum Beispiel die Prozesstemperatur nicht höher als 125 °C sein darf, lässt sich aus Bild 7 ablesen.

Vergleich mechanische Werte

Aluwabenplatten werden in vielen Fällen mit 2K Klebstoffen (2K PUR oder 2K EP) hergestellt und zwar in der Regel unter Verwendung von ca. 300 g/m². Einen direkten Vergleich der Eigenschaften bei Einsatz unterschiedlicher Klebstoffsysteme liefert das Bild 8, wobei exemplarisch ein 2K Polyurethan- und ein 2K Epoxydharzsystem mit in die Untersuchung aufgenommen wurden. Bei den gewählten reaktiven Klebstoffen Pontacol RP 3007 und RE-EC handelt es sich um standardmässig lieferbare 2K Systeme, mit denen trotz des Einsatzes von deutlich mehr Klebstoff, als bei der Klebefilm-Methode nur relativ geringe Schälwiderstände erreicht werden konnten. Neue thermisch aktivierbare 2K PUR-Systeme sind diesbezüglich deutlich verbessert worden, weisen aber immer noch Defizite gegenüber den hier vorgestellten Klebfilmen auf.

Kriechfestigkeit

Wabenplatten werden ausgesprochen hohen lokalen Spannungen ausgesetzt (Wabenkanten), welche eine Gefahr für die Wärmestandfestigkeit darstellen. In Bild 9 wird anhand von Trommelschältests bei verschiedenen Temperaturen von Raumtemperatur bis 115 °C gezeigt, dass thermoplastische Klebefilme durchaus das Potenzial haben Wabenplatten so zu verkleben, dass die nötige Wärmestandfestigkeit für Aussenanwendungen erreicht wird. 3 verschiedene Klebefilme waren die Basis für diese Untersuchung, wobei immer die gleiche Verklebungstechnik angewendet wurde. Erstaunlicherweise gibt es keine direkte Korrelation zwischen Schmelzbereich und Wärmestandfestigkeit. 22.001-125 g erweicht zwischen 115 °C und 130 °C, 22.111-100 g zwischen 120 °C und 130 °C, 23.111-100 g bei ca. 140 °C–150 °C. Trotzdem stellen wir fest, dass 22.001 aufgrund starker Fließneigung bei erhöhten Temperaturen nur bis 60 °C genügend Wärmestandfestigkeit zeigt, hingegen 22.111 mit gering höherem Schmelzbereich bereits bis ca. 95 °C eingesetzt werden kann. Was ebenfalls erstaunt, ist die Tatsache, dass 23.111 mit deutlich höherem Schmelzbereich nicht bei wesentlich höheren Temperaturen als 22.111 eingesetzt werden kann, da der Schälwiderstand bei 100 °C etwa auf gleichem Niveau wie bei 22.111 gemessen wurde. Diese Tatsache zeigt auf, dass der Erweichungsbereich allein noch kein Garant für eine entsprechende Wärmestandfestigkeit ist. Auch 3- und 4-Punktbiegetests im Vergleich zu Verklebungen mit einem reaktiven Epoxy-Klebsystem haben gezeigt, dass thermoplastische Klebefilme durchaus in der Lage sind, bereits bei halb so viel Klebstoff bis 80 °C festigkeitsmässig mithalten zu können. Die an kommerziell verfügbaren Platten gemessenen mechanischen Werte sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Schlagfestigkeit

Aluwabenplatten wurden in 3 verschiedenen Richtungen unter Schlag beansprucht. Stahlhämmer von ca. 7–10 kg wurden quer und auf die mit 3 verschiedenen Klebstoffen verklebten Wabenplatten mit einer Geschwindigkeit von ca. 50 km/h geschossen

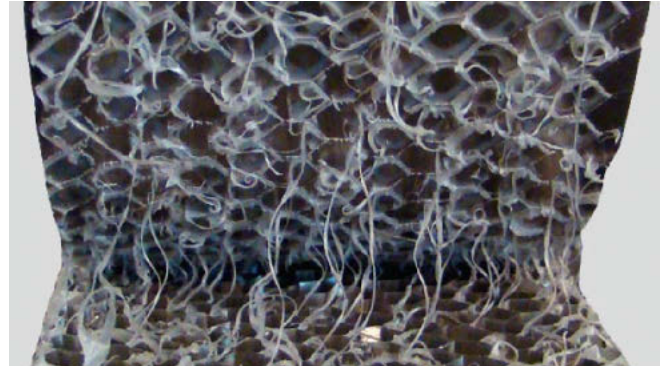


Bild 5: Abgeschälte Deckschicht mit Vorprozess.

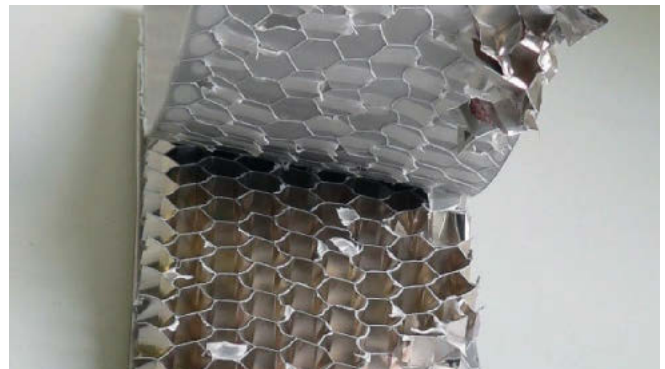


Bild 6: Abgeschälte Deckschicht ohne Vorprozess.

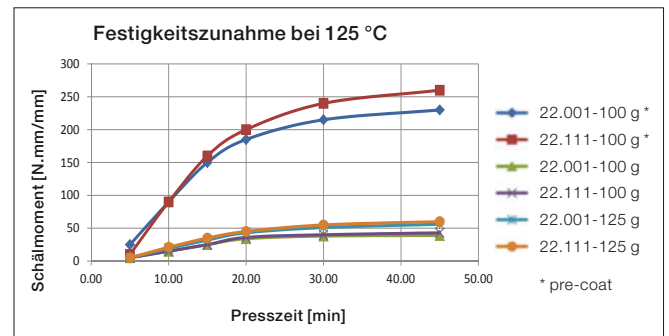


Bild 7: Abhängigkeit Trommelschältestfestigkeit von Presszeit nach DIN 53 295.

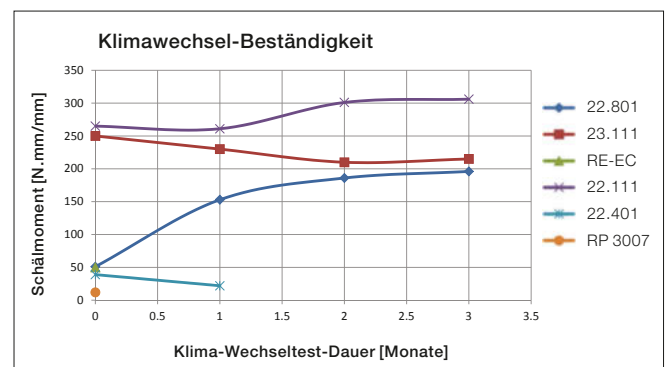


Bild 8: Trommelschältestfestigkeit nach DIN 53 295 in [N.mm/mm] nach Klimawechsel Belastung (Testbedingungen gemäss Tabelle 1).

und der Kraftverlauf aufgezeichnet, welcher nötig war, um den Hammer durch die Wabenplatte durchzuschlagen zu können. In Bild 10 wird gezeigt wie viel Widerstand eine Wabenplatte gegen die Zerstörung unter Schlägeinwirkung im Spaltungs-Modus entgegenbringt bei gleichbleibender Schlagkraft/-energie, jedoch unterschiedlicher Verklebungsweise.

Die grünen Kurven zeigen den Widerstand einer Wabenplatte, welche mit 300 g/m² 2K PUR verklebt wurde. Die blauen Kurven sind repräsentativ für den Widerstrand einer Platte, welche mit einem thermoplastischen Klebefilm (22.111-100 g) auf konventionelle Art verklebt wurde. Die roten Kurven widerspiegeln die Festigkeit mit demselben Klebefilm, jedoch mit der früher beschriebenen, innovativen Prozesstechnik für die Klebstoffkonzentration auf den Wabenkanten. Die Bruchenergie ist signifikant höher als bei der 2K PUR-Verklebung, obwohl nur 1/3 des Klebstoffgewichtes verwendet wurde. Mit dieser Technologie lassen sich also deutliche technische Vorteile zeigen, ohne erhöhte Kosten in Kauf nehmen zu müssen. Ein Bild der zerstörten Probe unter dem Diagramm verdeutlicht das Niveau der plastischen Verformung, welche während des Schlagvorgangs als Folge des starken Widerstands verursacht wurde.

Fazit

Das vorgestellte Verfahren, das auf einem geschlitzten Klebfilm beruht, bietet die Möglichkeit, Aluminiumwabenplatten klebstoffsparend ohne Leistungsverzicht herzustellen. Unter bestimmten Voraussetzungen gelingt es mit dieser neuen Methode im Vergleich zu einem herkömmlich eingesetzten Epoxidharzsystem, mit der halben Klebstoffmenge die 3–5 fache Festigkeit zu erzielen. So konnte in verschiedenen Praxisversuchen unter industriellen Bedingungen gezeigt werden, dass mit dem neuen Prozess sogar 75 g/m² Klebfilm ausreichte, um die geforderten Eigenschaften zu erreichen.

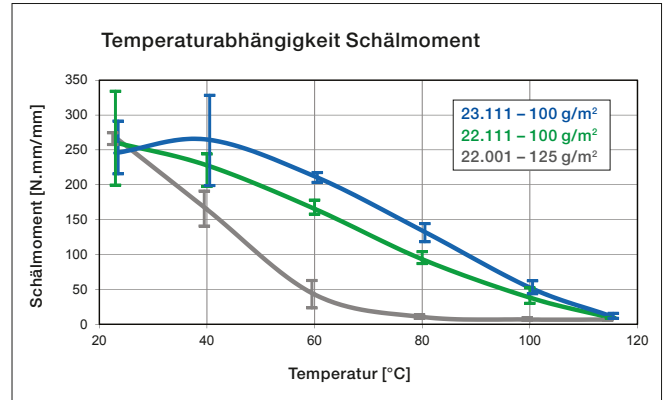


Bild 9: Trommelschältest nach DIN 53295 bei verschiedenen Temperaturen.

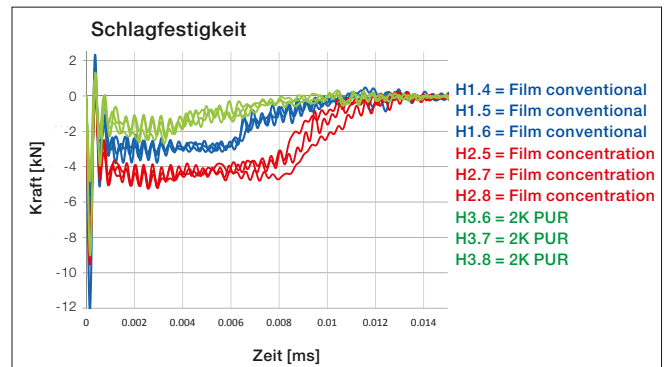


Bild 10: Kraftverlauf bei Schlagfestigkeitstests und entsprechender Prüfkörper nach dem Test.

Eigenschaften/Bezeichnungen	Einheit	RE-EC	Pontacol 22.111
Dicke (ASTM C366)	mm	10 ± 0,3	10 ± 0,3
Plattengewicht (ASTM D898, DIN 53 855)	kg/m ²	4,60	4,30
Druckfestigkeit (ASTM C365, DIN 53 291)	MPa	4,25	4,25
Trommelschältest (ASTM D1781, DIN 53 295)	Nmm/mm		
Längs		> 50	> 250
Quer		> 50	> 250
4 Punkt-Biegetest (ASTM C393, DIN 53 293)	N		
Längs		1700	1480
Quer		1540	1420
Durchbiegung bei 450 N, Zentrum längs	mm	4,90	6,00
Durchbiegung bei 450 N, Zentrum quer	mm	5,44	6,10
3 Punkt-Biegetest (ASTM C393, DIN 53 452)	N		
Längs		3170	2380
Quer		1940	1810
Anwendung im Temperaturbereich	°C	-55 °C bis +100 °C	-55 °C bis +80 °C

Tabelle 2: Vergleich Testergebnisse Aluminiumwabenplatten, hergestellt mit 300 g/m² EP-Klebstoff (RE-EC) bzw. 150 g/m² Klebfilm (Pontacol 22.111).

Klebefilme für Aluminiumwabenplatten

Eigenschaften	Einheit	Pontacol 20.801	Pontacol 20.301	Pontacol 22.001	Pontacol 22.111	Pontacol 22.401	Pontacol 23.111
Chemische Basis		EVA	EAA	LLDPE	LDPE	HDPE	PP
Schmelzbereich (Kofflerbank)	[°C]	80–90	90–105	115–130	120–130	125–135	140–150
Schmelzindex DIN 53735 (190 °C/21.2 N)	[g/10 min]	6–9	6–9	3–8	3–6	3–8	5–8
Dichte	[g/ml]	0,94	0,93	0,90	0,91	0,93	0,91
Minimale Klebfugentemperatur	[°C]	100	115	130	140	140	165
Offene Zeit	sec	<1	<1	<2	<1	<1	<1
Wärmestandfestigkeit (DMTA)	[°C]	75	80–90	105	110	120	135
Weichmacherbeständigkeit	n.a.	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Pressdauer	min	5	3	3	5	5	5
Pressdruck	bar	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Presstemperatur	[°C]	105	120	155	155	155	170
Klebefilmgewicht	[g/m ²]	100	95	100	100	100	100
Schubmodul	[MPa]	20	60	60	100	800	360
Elastizitätsmodul	[MPa]	20	120	115	75	1460	870
Streckgrenze	[MPa]	4	4,8	3,8	7,7	13,9	17,2
Zugfestigkeit	[MPa]	26	24,3	14,1	27	13,9	30,3
Bruchdehnung	[%]	1100	1020	1430	1200	460	1050
Zugscherfestigkeit auf Aluminium (ZSF) 23 °C	[MPa]	10	10,2	11	12	12,8	11
ZSF 47 °C	[MPa]	5	6	6,5	10	10,6	9,6
ZSF 70 °C	[MPa]	0,7	1	2	6	8,2	8
ZSF 90 °C	[MPa]	---	---	0,5	4	6	7,5
Trommelschälfestigkeit (TSF) 23 °C	[Nmm/mm]	51 ± 2	54 ± 4	254 ± 13	265 ± 26	39 ± 3	250 ± 19
TSF 14 Tage SST 35 °C	[Nmm/mm]	76 ± 5	49 ± 5	239 ± 3	298 ± 30	---	---
TSF 28 Tage SST 35 °C	[Nmm/mm]	73 ± 3	48 ± 2	245 ± 22	314 ± 19	---	---
TSF 30 Tage KWT 23 °C	[Nmm/mm]	153 ± 17	103 ± 9	245 ± 11	261 ± 24	22 ± 2	230 ± 25
TSF 60 Tage KWT 23 °C	[Nmm/mm]	186 ± 16	118 ± 9	176 ± 35	301 ± 4	---	209 ± 30
TSF 90 Tage KWT 23 °C	[Nmm/mm]	196 ± 15	127 ± 12	239 ± 13	306 ± 11	---	214 ± 28
SST = Salzsprühtest bei 35 °C							
KWT (Klimawechseltest) 40' +23 °C, 30% r.F., 90' kühlen / 60' -35 °C, <30% r.F., 80' heizen / 120' +50 °C, 80% r.F., 30' heizen / 240' +80 °C, 30% r.F.							
Pontacol Verklebungsprozess ist Grundbedingung für die oben erwähnten Eigenschaften.							

Tabelle 1: Gesammelte Daten von Wabenplattenverklebungen.