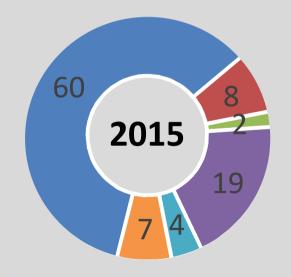


# Fügen im Automobilbau

24. und 25. Januar 2017, NH Hotel Ingolstadt

# Kleben im Materialmix intelligenten Leichtbaus –

von Oberflächenvorbehandlung bis Delta-Alpha-Problematik



Mittlere Werkstoffverteilung in Europäischen PKW



Quelle: JEC Composites Magazine No.107 Aug-Sept. 2016/PSA





## Materialmix im automobilen Leichtbau - Keraussagen

- "Den" Leichtbauwerkstoff gibt es nicht
- Insgesamt bleiben metallische Werkstoffe ein wichtiger Bestandteil struktureller Leichtbauteile im Automobil
- Der Anteil an konventionellen Stählen wird zugunsten hochfester Stähle und Leichtmetall-Legierungen abnehmen
- Polymerwerkstoffe werden ebenfalls an Bedeutung gewinnen

Die Strategie den richtige Werkstoff an der richtigen Stelle, mit der richtigen Ökologie und zu angemessenen Kosten einzusetzen hat und wird weiter zu einer Zunahme von Leichtwerkstoffen und von Werkstoffkombinationen führen.



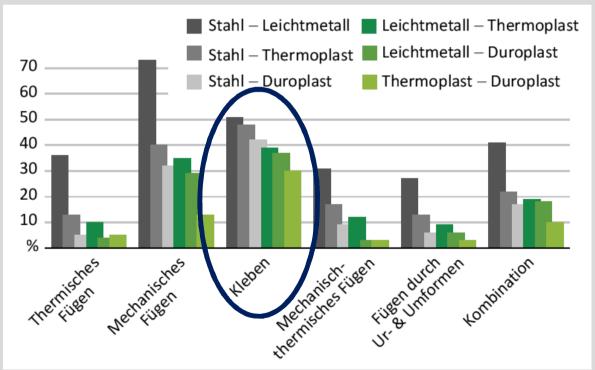


# <u>Materialmix im automobilen Leichtbau –</u>

# eingesetzte Fügeverfahren für Werkstoff-kombinationen

Das Kleben hat sich in einer Onlineumfrage von 240 Experten aus Unternehmen verschiedener Branchen und unterschiedlicher Größe als ein universelles Fügeverfahren für den automobilen Leichtbau herauskristallisiert

Insbesondere in Kombination mit anderen Fügeverfahren wird der Umfang an Klebungen ansteigen.



Quelle: M. Gude, G. Mechut, M. F. Zäh FORELStudie: Chancen und Herausforderungen im ressourceneffizienten Leichtbau für die Elektromobilität ISBN 978-3-00-049681-3





# **SWOT Analyse Kleben im automobilen Leichtbau**

#### **STRENGTH**

- Fügen unterschiedlicher Werkstoffe
- Gute Ermüdungsbeständigkeit
- Elastische Verbindung kann Relativbewegungen der Fügeteile kompensieren
- Erhalt der Bauteilintegrität
- Gewichtsersparnis

#### **OPPORTUNITIES**

- Integration von zusätzlichen Funktionen
- Kombination mit anderen Fügeverfahren

#### **W**FAKNESSES

- Geringere mechanische Festigkeit als die Fügeteile
- Starker Einfluss der Oberfläche auf die Festigkeit und Lebensdauer
- Begrenzte Temperatur- und Medienbeständigkeit
- Lange Härtungszeiten
- Komplexer Prozess

#### **T**HREATS

- Keine 100 % zerstörungsfreie Prüfung
- Kontrolle der Oberflächenqualität
- Alterung





# <u>Δ-α-Problematik</u>

#### **Definition:**

Unterschiedliches thermisches Ausdehnungsverhalten der Fügepartner führt bei Temperaturwechsel zu einer Belastung der Klebung



E-Mail: hlohse@hdyg.de Tel.: +49 (0)4822 95180

Δα





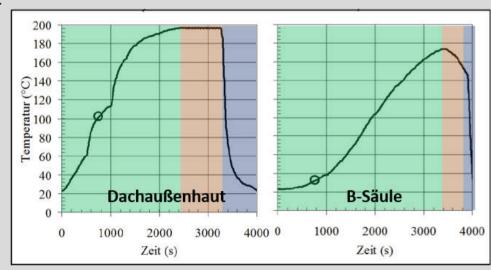
## **Δ-α-Problematik**

#### **Ursachen:**

- Fügeteile mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten
- unterschiedliche Erwärmung oder Abkühlung der Fügeteile
  - die Temperatur von Außenhaut-Teilen eilt der von Versteifungs-Profilen voraus
  - Erwärmung abhängig von der Materialstärke

#### z.B.

- während der Ofendurchläufe in der Lackiererei mit inhomogener Temperaturverteilung
- bei Erwärmungs- und Abkühlungsvorgängen im Lebenszyklus



Quelle: Dissertation S. Menzel Zur Berechnung von Klebverbindungen hybrider Karosseriestrukturen beim Lacktrocknungsprozess - 2011

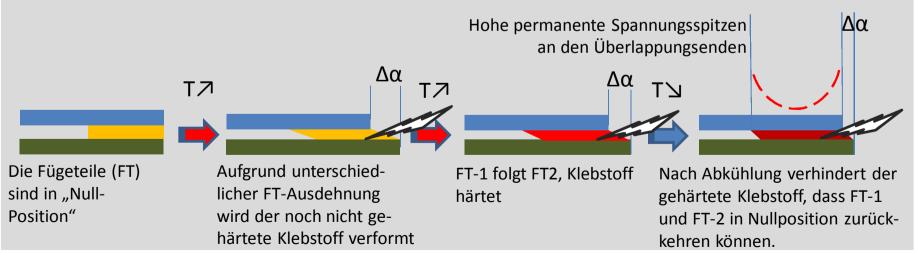




## **Δ-α-Problematik**

Auswirkungen - Ofendurchlauf

Ein unterschiedliches Ausdehnungsverhalten der Fügeteile führt beim Ofendurchlauf in Abhängigkeit des zeitlichen Härtungsverhaltens des Klebstoffs zu einer Belastung der Klebung durch "Einfrieren" der Relativbewegung mit der Gefahr von Bauteilverformungen (Abzeichnungen), der Schädigung der Klebung bis hin zum Versagen

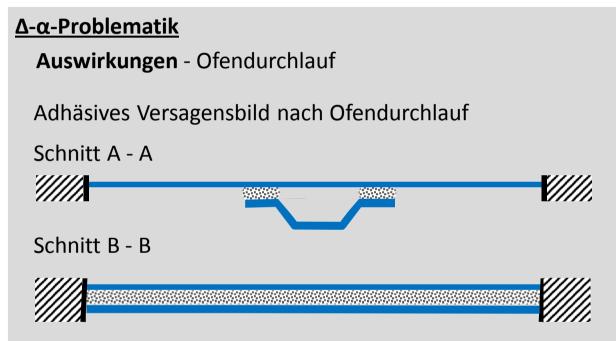


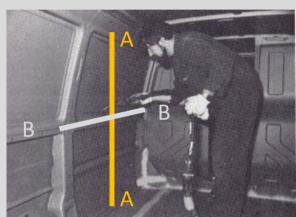
©2017 KLEBTECHNIK Dr. Hartwig Lohse e.K

7/29









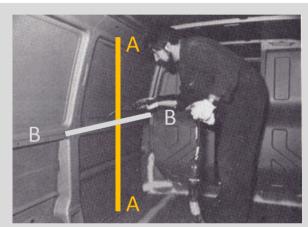
Quelle: H. Lohse in W.Endlich Zukunftsorientierte Klebstoffe für Metall- und Nichtmetallverbindungen Vulkan-Verlag- Essen 1991

Vor Ofendurchlauf, beide Fügeteile liegen am Klebstoff an und werden benetzt





# <u>A-α-Problematik</u> Auswirkungen - Ofendurchlauf Adhäsives Versagensbild nach Ofendurchlauf Schnitt A - A Schnitt B - B

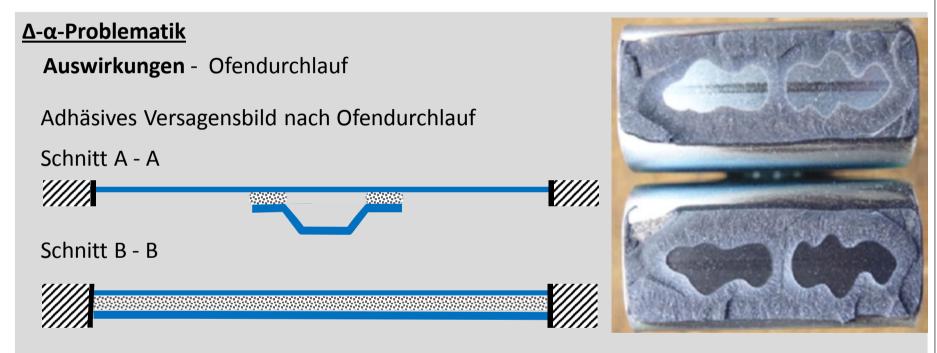


Quelle: H. Lohse in W.Endlich Zukunftsorientierte Klebstoffe für Metall- und Nichtmetallverbindungen Vulkan-Verlag- Essen 1991

Während der Aufheizphase wird das Außenblech schneller erwärmt, es dehnt sich relativ zum Verstärkungsprofil aus. Da es an den Enden fixiert ist kommt es zur Beulenbildung. Da zu diesem Zeitpunkt Kohäsion > Adhäsion kann der Klebstoff der Außenhaut nicht folgen.







Nach Ofendurchlauf liegen beide Fügeteile am Klebstoff an, eine Benetzung der Außenhaut ist nicht gegeben, kein erneuter Adhäsionsaufbau Quelle: R. Dietrich, Delta-Alpha Problematik bei 1K-Mischbauklebungen, Symposium Faszination Leichtbau 2014

Der Effekt konnte im Labor mittels Stirnzugversuch bei niedriger Traversengeschwindigkeit im Ofen nachgestellt werden.

©2017 KLEBTECHNIK Dr. Hartwig Lohse e.K

10/29





## **Δ-α-Problematik**

Auswirkungen - Erwärmungs- und Abkühlungsvorgängen im Lebenszyklus:

Ähnliche Effekte können auch während der Nutzungsphase, insbesondere bei Fügeteilen mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten auftreten.

Beispiel: Dachmodul – PCABS-Scheibe auf Metallrahmen

Dachscheibe - PCABS

Klebstoff - 1 K
feuchtigkeitsvernetzendes PU

Dachrahmen KTL-beschichtetes
Metall



Quelle: U. Bergers, K. Dilger Eine elegante Lösung bei Spannungsrissen Adhäsion KLEBEN & DICHTEN 9/2014

Klebversagen bei intensiver Sonnenbestrahlung





## **Δ-α-Problematik**

Auswirkungen - Erwärmungs- und Abkühlungsvorgängen im Lebenszyklus:

Beispiel: Dachmodul – PCABS-Scheibe auf Metallrahmen

Bei starker Sonneneinstrahlung kommt es zur bevorzugten Erwärmung der Dachscheibe

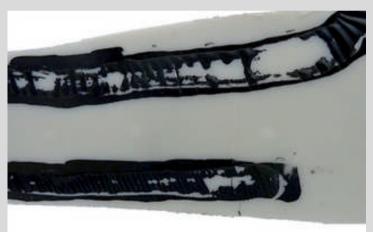
 $\alpha_{PCABS}$ : 80 x 10<sup>-6</sup>/K

 $\alpha_{AI}$ : 23 x 10<sup>-6</sup>/K

 $\alpha_{Mg}$ : 25 x 10<sup>-6</sup>/K

Da die Dachscheibe in ihrer Längenausdehnung blockiert ist kommt es zu einer Wölbung und somit einer Kraft senkrecht zur Klebung.

In der Folge kommt es zu Materialausriss aus der durch den verwendeten Primer geschwächten Dachscheibe (Spannungsrisskorrosion)



Quelle: U. Bergers, K. Dilger Eine elegante Lösung bei Spannungsrissen Adhäsion KLEBEN & DICHTEN 9/2014





## **Δ-α-Problematik**

## Allgemeine Maßnahmen zur Reduzierung der unerwünschten Effekte

- Bauteilgeometrie, klebgerechte Konstruktion
- Berücksichtigung der temperaturabhängigen thermischen Ausdehungskoeffizienten der Fügeteile.
- Bei FVK müssen auch Anisotropien beachtet, bzw. können diese auch genutzt werden
- Optimierung des Klebspalts hinsichtlich, Verbundfestigkeit und ggf. auftretender Relativbewegungen
- Anpassung der mechanischen Eigenschaften des Klebstoffs (Bruchdehnung, Modul, Relaxationsverhalten)





## **Δ-α-Problematik**

## Maßnahmen zur Reduzierung - Ofenhärtung

- Möglichst homogene Temperaturverteilung in den Trockenöfen
- Auswahl geeigneter zusätzlicher mechanischer Fixierung bei Ofenhärtung (Zulassen von Relativbewegungen während der Härtung durch Blindnieten statt Stanznieten)
- Anpassung der Härtungskinetik des Klebstoffs an das Ofenprofil und umgekehrt
  - der Klebstoff darf nicht zu früh oder zu spät härten
  - modifizierte Aufheiz- und Abkühlrampen können Temperaturdifferenzen an der Karosserie verringern
  - Begünstigung von Relaxationsvorgängen im Klebstoff (Abbau von Spannungen)





# **SWOT Analyse Kleben im automobilen Leichtbau**

#### **STRFNGTH**

- Fügen unterschiedlicher Werkstoffe
- Gute Ermüdungsheständigkeit
- Elastische Verbindung kann Relativbewegungen der Fügete kompensieren
- Erhalt der Bauteilintegn
- Gewichtsersparnis

#### **OPPORTUNITIES**

- Integration von zusätzlichen Funktionen
- Kombination mit anderen Fügeverfahren

#### **W**FAKNESSES

- Geringere mechanische Festigkeit als die Fügeteile
- Starker Einfluss der Oberfläche auf die Festigkeit und Lebensdauer
- Begrenzte Temperatur- und Medienbeständigkeit
- Lange Härtungszeiten
- Komplexer Prozess

#### **T**HREATS

- Keine 100 % zerstörungsfreie Prüfung
- Kontrolle der Oberflächenqualität
- Alterung

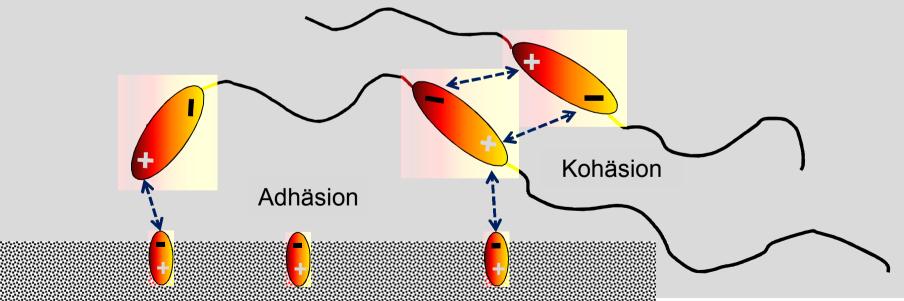




## Materialmix im automobilen Leichtbau -

# klebtechnische Eigenschaften der Leichtbauwerkstoffe - Allgemeines

• Die Adhäsion als ein wesentlicher Beitrag zur Verbundfestigkeit von Klebungen findet durch Wechselwirkungen zwischen geeigneten Gruppen an der Fügeteiloberfläche und im Klebstoff statt. (z.B. Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, chemische Bindungen, Wasserstoff-Brückenbindungen, van der Waals Kräfte)



©2017 KLEBTECHNIK Dr. Hartwig Lohse e.K

16/29





## Materialmix im automobilen Leichtbau -

# klebtechnische Eigenschaften der Leichtbauwerkstoffe - Allgemeines

- Die Adhäsion als ein wesentlicher Beitrag zur Verbundfestigkeit von Klebungen findet durch Wechselwirkungen zwischen geeigneten Gruppen an der Fügeteiloberfläche und im Klebstoff statt. (z.B. Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, chemische Bindungen, Wasserstoff-Brückenbindungen, van der Waals Kräfte)
- Klebstoff und Oberfläche müssen zueinander passen
- Über die Oberfläche wird bei Belastung die Kraft in das Bauteil eingeleitet
- Die Oberfläche eines Werkstoffs weicht im Allgemeinen im Aufbau und der Zusammensetzung vom Kernwerkstoff ab
- Die Oberfläche eines Werkstoffs kann sehr unterschiedlich sein und wird durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren beeinflusst.
- Die Oberfläche kann örtliche Unterschiede aufweisen
- Oberflächen unterliegen zeit- und umgebungsabhängigen Veränderungen





## Materialmix im automobilen Leichtbau -

# klebtechnische Eigenschaften der Leichtbauwerkstoffe - Allgemeines

- Die Adhäsion als ein wesentlicher Beitrag zur Verbundfestigkeit von Klebungen findet durch Wechselwirkungen zwischen geeigneten Gruppen an der Fügetealeberfläche und im Klebstoff statt. (z.B. Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, chacische Bindungen, Wasserstoff-Brückenbindungen, van der Waals Kräfte) et Klebstoff und Oberfläche müssen zueinander en Sen Über die Oberfläche wird bei Belasteng die Kraft in das Bauteil eingeleitet

- Die Oberfläche eines Werkeichts weicht im Allgemeinen im Aufbau und der Zusammensetzung bei Kernwerkstoff ab
  Die Oberfahre eines Werkstoffs kann sehr
- eines Werkstoffs kann sehr unterschiedlich sein und wird durch eine nflussfaktoren beeinflusst.
- Die Oberfläche kann örtliche Unterschiede aufweisen
- Oberflächen unterliegen zeit- und umgebungsabhängigen Veränderungen

E-Mail: hlohse@hdyg.de





## Materialmix im automobilen Leichtbau -

# klebtechnische Eigenschaften der Leichtbauwerkstoffe - Metalle

- Stähle und verzinkte Stähle (unbeschichtet)
  - Oberfläche ist beölt (Korrosionsschutz, Formgebungsprozess)
  - Eine Reinigung vor dem Kleben ist im i. d. R. Automobilbau nicht praktikabel
  - Verwendung von "heißhärtenden" Klebstoffen, Aufnahme des Öls während der Aufheizphase vor der Härtung des Klebstoffs (nur klebtechnisch freigegebene Öl dürfen verwendet werden)
- Aluminiumlegierungen
  - Im Anlieferungszustand undefinierte Oxidschicht → Konversionsbeschichtung
  - Beölte bzw. mit Trockenschmierstoff versehene Oberfläche (nur klebtechnisch freigegebene Öl/Trockenschmierstoffe dürfen verwendet werden)
- Magnesium
  - Im Anlieferungszustand undefinierte Oxidschicht → KTL





E-Mail: hlohse@hdyg.de

+49 (0)4822 95180

# Kleben im Materialmix intelligenten Leichtbaus – von Oberflächenvorbehandlung bis Delta-Alpha-Problematik

## Materialmix im automobilen Leichtbau -

# klebtechnische Eigenschaften der Leichtbauwerkstoffe - Polymere

Die Klebeigenschaften von Kunststoffen werden wesentlich durch

- den Polymeraufbau (Vorhandensein von polaren, polarisierbaren oder reaktiven Gruppen in der Oberfläche, Struktur und Beweglichkeit der Polymerkette)
- die neben dem Polymer enthaltenen Formulierungsbestandteilen (z.B. interne Trennmittel, Weichmacher, Antistatika, Antioxidantien, UV-Stabilisatoren, Farbpigmente, Fasern)
- den Formgebungsprozess (Prozessbedingungen, Art und Menge

der externen Trennmittel)

bestimmt.







## Materialmix im automobilen Leichtbau -

# klebtechnische Eigenschaften der Leichtbauwerkstoffe - Polymere

## Polymeraufbau

Polare oder polarisierbare Gruppen in der Oberfläche

$$---CH_2--CH_2--CH_2--CH_2---CH_2---$$

Polyethylen: unpolar da C mit 2,55 und H mit 2,20 praktisch gleiche Elektronegativitäten\* aufweisen

PVC: polar da C mit 2,55 und Cl mit 3,16 unterschiedliche Elektronegativitäten\* aufweisen

F: 3,98 - O: 3,44 - Cl: 3,16 - N: 3,04 - S: 2,58 - C: 2,55 - H: 2,20

<sup>\*</sup> Elektronegativität: relatives Maß für die Fähigkeit eines Atoms, in einer chemischen Bindung Elektronenpaare an sich zu ziehen.



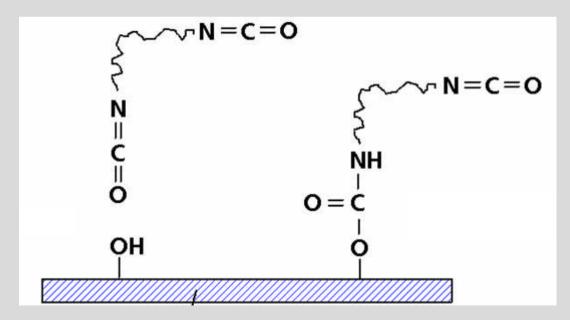


# Materialmix im automobilen Leichtbau -

# klebtechnische Eigenschaften der Leichtbauwerkstoffe - Polymere

## Polymeraufbau

Reaktive Gruppen in der Oberfläche



Aktivierte Kunststoffoberfläche:
Die OH-Gruppe bietet dem
Polyurethanklebstoff die
Möglichkeit eine
chemische Bindung
einzugehen





## Materialmix im automobilen Leichtbau -

## klebtechnische Eigenschaften der Leichtbauwerkstoffe - Polymere

## Polymeraufbau

- Struktur und Beweglichkeit der Polymerkette: Das Vorhandensein von vielen polaren oder funktionellen Gruppen in einem Kunststoff bedeutet nicht zwangsläufig, dass diese auch an der Oberfläche zur Ausbildung von Adhäsionskräften zur Verfügung stehen. So kann es sein, dass:
  - sich die Polymerketten infolge von an der Oberfläche befindlichen unpolaren Trennmitteln so ausrichten, dass die unpolaren Gruppen nach außen und die polaren nach innen gerichtet sind ("Similia similibus solvuntur")
  - die Gruppen auf Grund von sterischer Hinderung nicht zu erreichen sind.
  - die Gruppen sich gegenseitig behindern (z. B. kristalline Bereiche in teilkristallinen Thermoplasten
  - die Polymersegmente im Kunststoffpolymer so starr sind, dass nur wenige funktionelle Gruppen an der Oberfläche sich zum Klebstoff hin orientieren können.





## Materialmix im automobilen Leichtbau -

# klebtechnische Eigenschaften der Leichtbauwerkstoffe - Polymere

## Formulierungsbestandteile mit anti-adhäsiven Eigenschaften

- interne Trennmittel: Migrieren beim Formgebungsprozess an die Fügeteiloberfläche und ermöglichen bzw. erleichtern aufgrund der dehäsiven Wirkung die Entformung und verschlechtern bei nachfolgenden Klebungen die Haftung des Klebstoffs zum Fügeteil. Bei wärmeunterstützter Klebstoffhärtung kann es zu einer erneuten Migration kommen, die eine vorherige Entfernung von Trennmittel relativiert.
- Weichmacher/Extender (Streck- oder Prozessöle): haben eine gewisse Tendenz zur Migration und können
  - in die Adhäsionszone gelangen und dort zu einer Verringerung der Adhäsionswechselwirkungen führen → Haftungsverlust, Klebversagen
  - in den Klebstoff eindiffundieren und dort die Wechselwirkungen zwischen den Klebstoff-Polymerketten schwächen (Weichmachung des Klebstoffs)
- Es empfiehlt sich auch sonstige Formulierungsbestandteile kritisch zu betrachten





## Materialmix im automobilen Leichtbau -

## klebtechnische Eigenschaften der Leichtbauwerkstoffe - Polymere

## Formgebungsprozess

- externe Trennmittel: Werden vor dem Formgebungsprozess auf die Formoberfläche aufgebracht und ermöglichen bzw. erleichtern aufgrund der dehäsiven Wirkung die Entformung und verschlechtern bei nachfolgenden Klebungen die Haftung des Klebstoffs zum Fügeteil.
- Prozessbedingungen: Beeinflussen u.a. den Aufbau und die Eigenschaften der sog.
   Gusshaut, z.B. deren Anbindung an das Bulkmaterial und die Orientierung von polaren
   Gruppen und und somit die Fügeteiloberfläche.
- Bei duroplastischen Polymeren können nach dem Formgebungsprozess eventuell noch enthaltene Restmonomere bei einer nachfolgenden Klebung zu Problemen führen.



Klebversagen aufgrund von, bei der Klebstoffhärtung aus SMC ausgasenden Restmonomeren Quelle: KLEBTECHNIK Dr. Hartwig Lohse e.K.





## Materialmix im automobilen Leichtbau -

# klebtechnische Eigenschaften der Leichtbauwerkstoffe

# Maßnahmen zur Reduzierung der unerwünschten Effekte

Sicherstellen, ggf. Erzeugen einer definierten, für die nachfolgende Klebung geeigneten Fügeteiloberfläche ohne die Fügeteile zu schädigen. Dabei ist eine ganzheitliche Betrachtung, insbesondere unter Berücksichtigung der Langzeitanforderungen an die Klebung erforderlich um das für die jeweilige Anwendung günstigste Verfahren zu identifizieren.

Weiterhin ist es erforderlich alle Einzelschritte entlang der Prozesskette festzuschreiben und die verwendeten Materialien, einschl. der Prozessmaterialien zu spezifizieren und die Kommunikation zwischen den beteiligten "Gewerken" sicherzustellen.



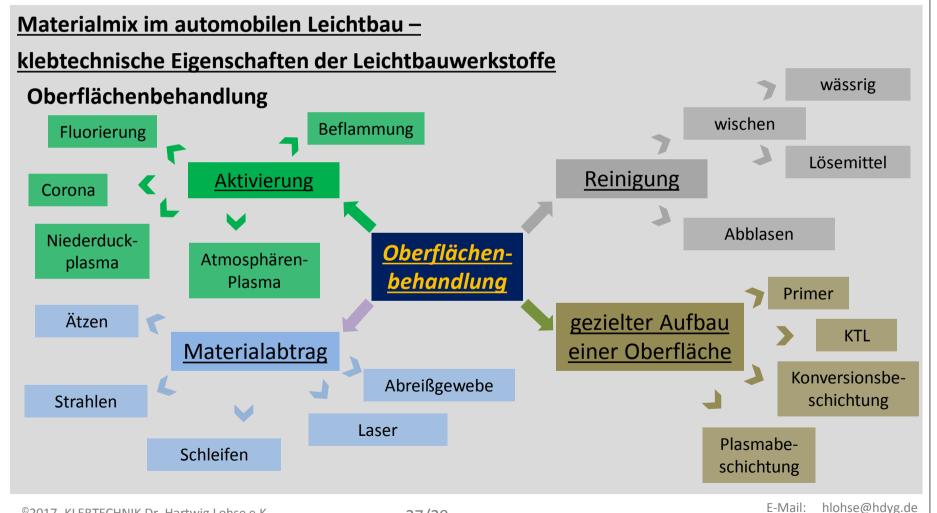
26/29





+49 (0)4822 95180

# Kleben im Materialmix intelligenten Leichtbaus – von Oberflächenvorbehandlung bis Delta-Alpha-Problematik







## **Fazit**

Kleben hat sich als "das" Fügeverfahren für den intelligenten Leichtbau bewährt und in vielen Klein- und Großserienanwendungen seine Leistungsfähigkeit unter Beweis gestellt.

Das Kleben verlangt von allen Beteiligten entlang der Prozesskette ein Wissen um die Spezifika dieses Fügeverfahrens und in mancher Hinsicht auch ein gewisses Umdenken.

Wenn die durch die Technologie vorgegebenen "Spiegelregeln" eingehalten werden hilft das Kleben Materialmix-typische Probleme (z.B.  $\Delta$ - $\alpha$ -Problematik) zu entschärfen, wenn nicht sogar zu lösen.

Wie auch bei anderen Fügeverfahren ist ein kontrollierter Prozess Voraussetzung für den Erfolg. Dies erfordert, wie in der DIN 2304-1 beschrieben die Berücksichtigung der klebtechnischen Spezifika entlang der gesamten Prozesskette.





## **Fazit**

Kleben hat sich als "das" Fügeverfahren für den intelligenten Leichtbau bewährt und in vielen Klein- und Großserienanwendungen seine Leistungsfähigkeit unter Beweis gestellt.

Das Kleben verlangt von allen Beteiligten entlang der Prozesskette ein Wissen um die Spezifika dieses Fügeverfahrens und in mancher Hinsicht auch ein gewisses Umdenken.

Wenn die durch die Technologie vorgegebenen "Spiegelregeln" eingehalten werden hilft das Kleben Materialmix-typische Probleme (z.B.  $\Delta$ - $\alpha$ -Problematik) zu entschärfen, wenn nicht sogar zu lösen.

Wie auch bei anderen Fügeverfahren ist ein kontrollierter Prozess Voraussetzung für den Erfolg

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit - Fragen?