

**Kleben –
Ein innovatives Fügeverfahren**
Erleben Sie eine Roadshow rund um das Kleben

Aus Schaden wird man klug – Schadensfälle der Klebtechnik



KLEBTECHNIK

Dr. Hartwig Lohse e.K.

Fraunhoferstrasse 3 ■ 25524 Itzehoe

Tel.: 04822 95180

E-Mail: hl@hdyg.de

Klebtechnische Beratung

Planung und Optimierung von Klebprozessen

- Klebstoffauswahl (neutral und Herstellerunabhängig)
- Prozess- und Anlagenplanung
- Fertigungskontrolle und Prozesssicherheit/QS
- Arbeitssicherheit

**25 Jahre
Erfahrung**

**Problemlösung/
Schadensanalyse**

**Klebstoff- &
Klebstoff-
entwicklung**

Der Sturz des Ikarus

– der erste überlieferte Schadensfall der Klebtechnik

Die Geschichte:

Ikarus und Dädalus wurden von König Minos im Labyrinth auf Kreta gefangen gehalten. Da Minos die Seefahrt und das Land kontrollierte, erfand Dädalus Flügel für sich und seinen Sohn. Dazu befestigte er Federn mit Wachs an einem Gestänge. Vor dem Start schärfte er Ikarus ein, nicht zu hoch und nicht zu tief zu fliegen, da sonst die Hitze der Sonne beziehungsweise die Feuchte des Meeres zum Absturz führen würde. Nachdem sie Samos, Delos und Lebinthos passiert hatten, wurde Ikarus übermütig und stieg so hoch hinauf, dass die Sonne das Wachs seiner Flügel schmolz, die Federn lösten sich und er stürzte ins Meer...



Quelle: Meyers Konversationslexikon 1888

Der Sturz des Ikarus

– der erste überlieferte Schadensfall der Klebtechnik

Die Fakten:

Klebstoff: Hotmelt auf Basis natürlicher Wachse

Fügeteil-Werkstoffe: Schilfrohr für die Tragkonstruktion, Federn als aerodynamische Elemente

Klebprozess: es fehlen verlässliche Angaben

Gebrauchshinweise: Dädalus hat sein Sohn dringlich darauf hingewiesen nicht übermütig zu werden

Augenzeugenberichte: Dem Absturz soll eine im Vergleich zu der des Dädalus eine deutlich höhere Flugbahn vorausgegangen sein



Quelle: Neapel, Museo di Capodimonte

Der Sturz des Ikarus

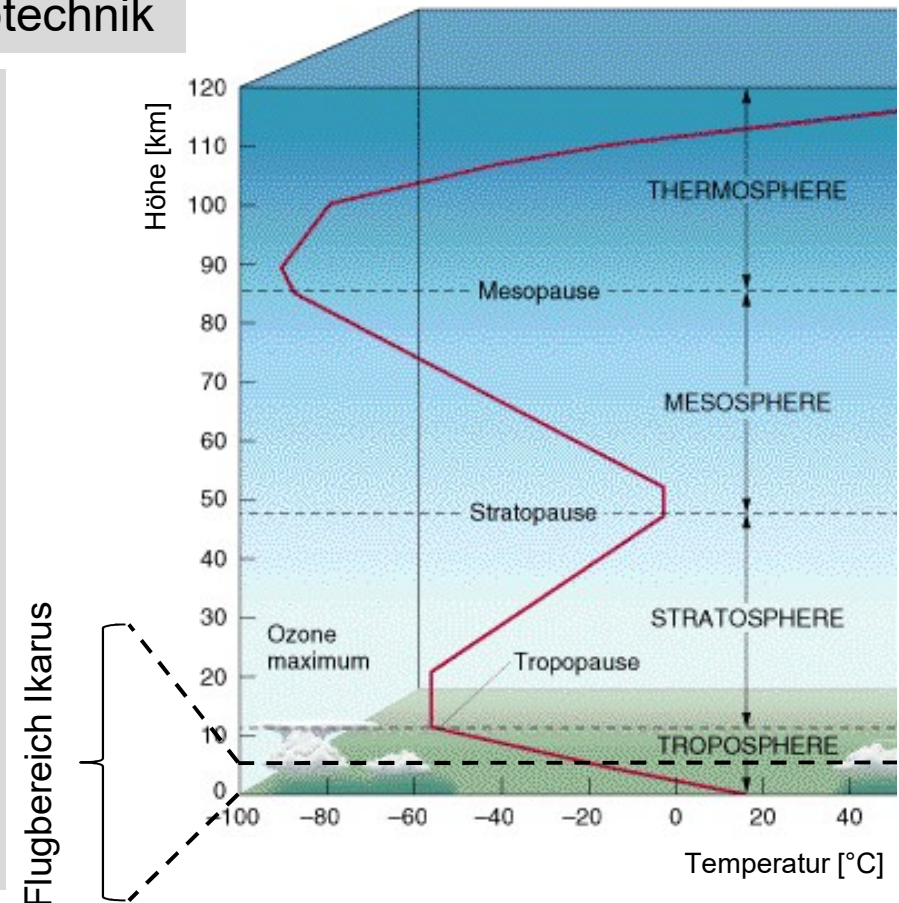
– der erste überlieferte Schadensfall der Klebtechnik

Die Ursache:

Langläufige Meinung: Ikarus hat sich bei seinem Flug zu sehr der Sonne genähert, sodass der Schmelzklebstoff erweicht ist bis er schließlich versagte

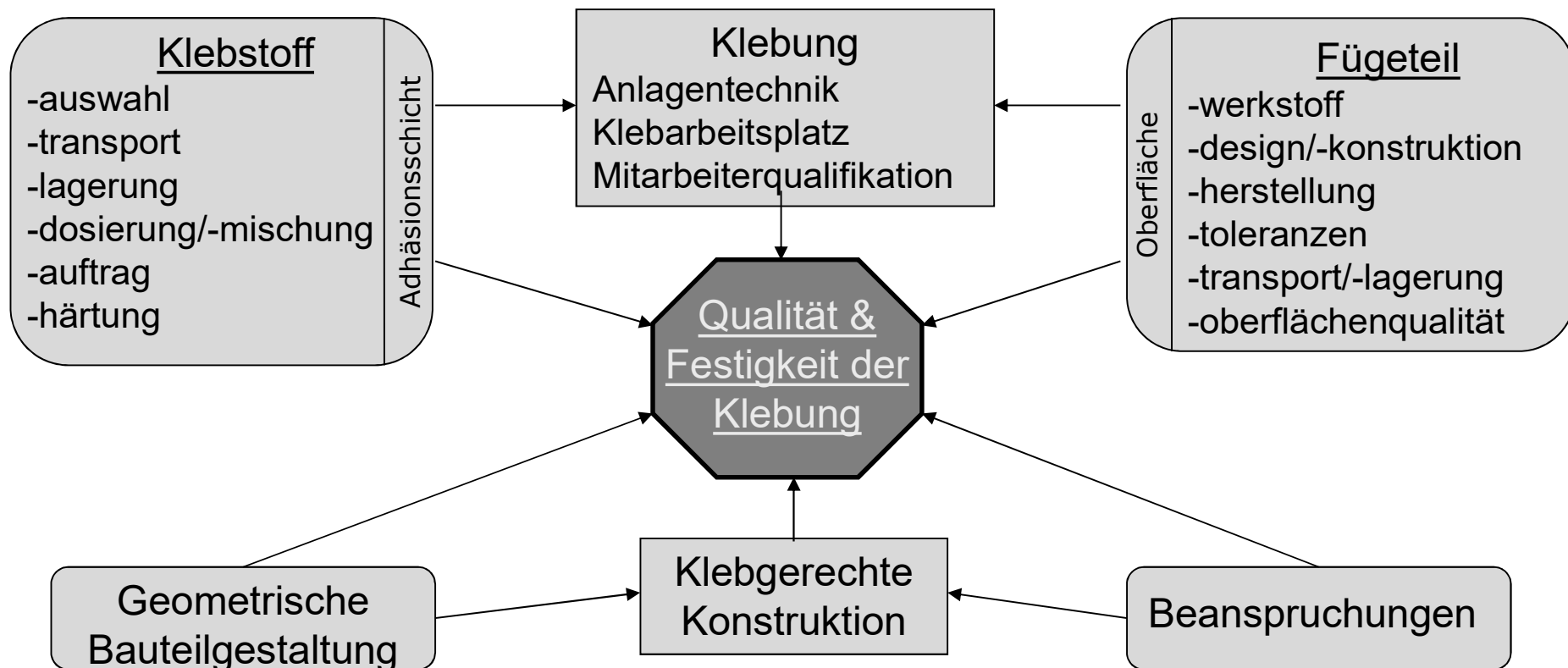
Tatsächliche Ursache: Heute ist bekannt, dass die Lufttemperatur mit der Höhe abnimmt, erst am Ende der Thermospäre, ab ca. 110 km liegen die Temperaturen wieder $> 20\text{ °C}$.

In dem Bereich in dem sich Ikarus aufhielt herrschen dagegen mit Temperaturen von -10 bis -30 °C Bedingungen bei denen der Thermoplast Wachs versprödet (T_g unterschritten). Aufgrund der Flugbewegungen kam es zum Sprödbruch



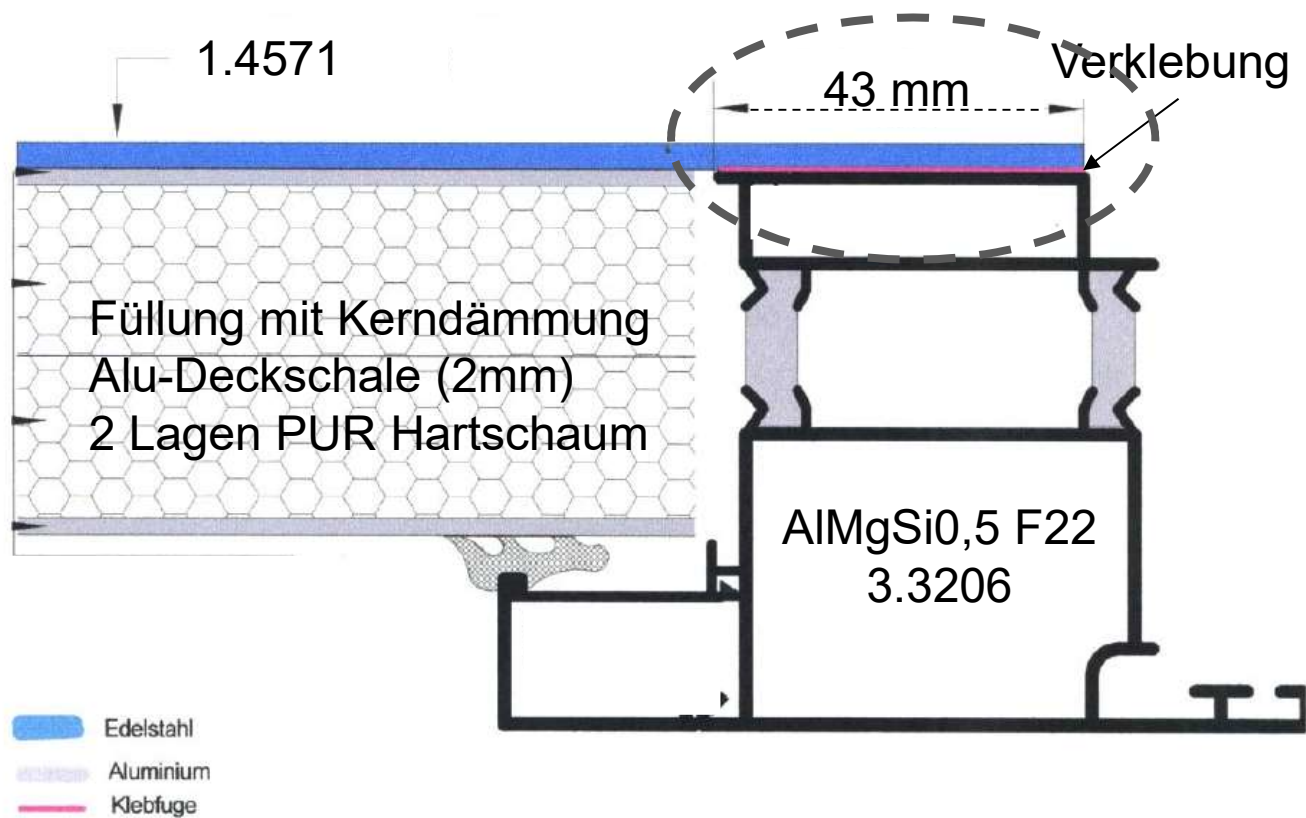
Quelle: Aguado & Burt (1999) Understanding Weather & Climate

Qualitätsbestimmende Einflussfaktoren beim Kleben



nach: G. Habenicht, Kleben, Springer Verlag, 2002

Hauseingangstür



Bilder: A. Gross, D. Niemann, A. v. Halteren
WAC 2008, Miami, Florida, USA

Hauseingangstür

– Versagen der Klebung zwischen Rahmen und Türfront

Versagen der Klebung während einer Schönwetterperiode mit relative hohen Lufttemperaturen von bis zu knapp 40 °C.

Die Edelstahlplatte löste sich vom Rahmen und verletzte den im Eingangsbereich spielenden kleinen Sohn der Hausbesitzer tödlich.



Bilder: A. Gross, D. Niermann, A. v. Halteren
WAC 2008, Miami, Florida, USA

Hauseingangstür

– Versagen der Klebung zwischen Rahmen und Türfront

Die Ursache:

Ausdehnungskoeffizient

AlMgSi0,5 F22, 3.3206: $23,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (www.universalprofil.com/referenz/Werstoff-Datenblatt.pdf)

V4A, 1.4571: $16,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (Informationsstelle Edelstahl Merkblatt 821)

Aufgrund des unterschiedlichen Wärmeausdehnungsverhaltens kommt es bei Erwärmung zu einer Relativbewegung der Bauteile gegeneinander.

Annahmen: Länge: 2 m ΔT : 20 K

Ausdehnung Aluminium-Rahmen: $2000 \text{ mm} \times 23,1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \times 20 \text{ K} = 0,9 \text{ mm}$

Ausdehnung Stahl-Platte: $2000 \text{ mm} \times 16,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \times 20 \text{ K} = 0,7 \text{ mm}$

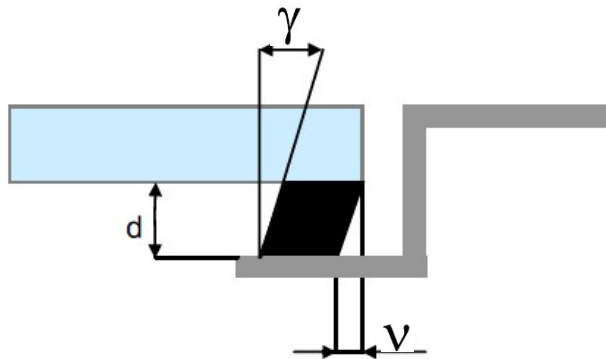
$\Delta l = 0,2 \text{ mm}$

Hauseingangstür

– Versagen der Klebung zwischen Rahmen und Türfront

Die Ursache:

Ermittelte Klebschichtdicke d an der Tür: 0,1 mm



$$\text{Gleitung } \tan \gamma = v/d = 0,2 \text{ mm}/0,1 \text{ mm} = 2 = 200 \%$$

Für eine sichere Verklebung wäre eine Klebschichtdicke von min. 1 mm notwendig

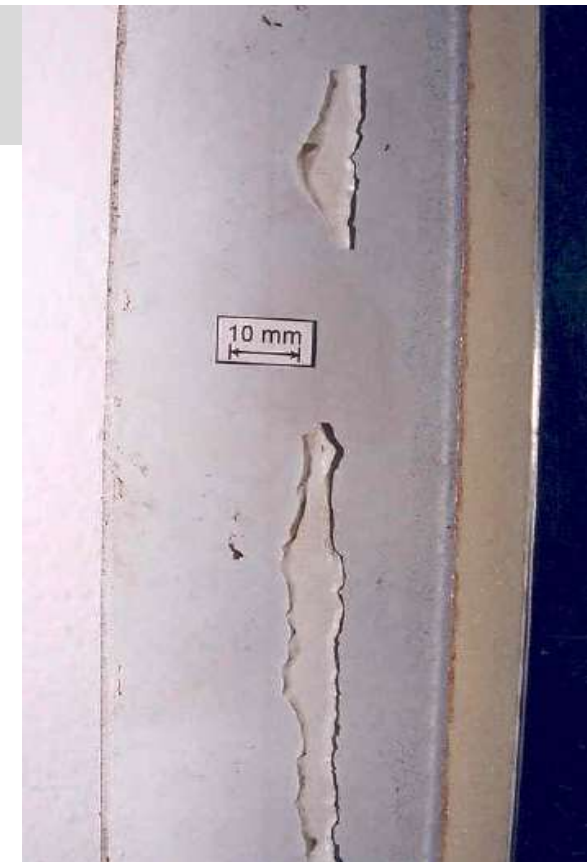


Bild: A. Gross, D. Niermann, A. v. Halteren
WAC 2008, Miami, Florida, USA

PV-Dachanlage

Werksseitig zu Elementen auf einer Rahmenkonstruktion aufgeklebte PV-Module wurden auf einem Dach im Kreis Steinburg montiert.

Um einen hohen Wirkungsgrad der PV-Module zu gewährleisten ist eine gute Hinterlüftung der Module Zwecks Kühlung notwendig.



Bild: Sönke Lange

PV-Dachanlage

Der Standort der Anlage liegt im Grenzbereich der Windlastzonen 3 und 4 (Windstärke 10 – 11 Bft)

Die auftretenden Windstärken führen zu einer nennenswerten Belastung der Konstruktion durch Winddruck und Windsog.

-  Windlastzone 1 mit 22,5 m/sek.
-  Windlastzone 2 mit 25,0 m/sek.
-  Windlastzone 3 mit 27,5 m/sek.
-  Windlastzone 4 mit 30,0 m/sek.



Bild: DIN 1055-4 Windlastkarte

PV-Dachanlage

– Versagen der Klebung PV-Modul/Unterkonstruktion

... es kam wiederholt zu
Sturmschäden durch Versagen
der Klebungen.



Bild: Sönke Lange

PV-Dachanlage

– Versagen der Klebung PV-Modul/Unterkonstruktion

... es kam wiederholt zu Sturmschäden durch Versagen der Klebungen.

Bei der Demontage der PV-Module Zwecks Verkehrs-sicherung stellt man fest, dass auch die Klebungen der bisher nicht betroffene PV-Modulen nur noch sehr geringe Festigkeiten aufweisen:

„...lassen sind mit 2 Fingern ohne großen Widerstand hochheben“.

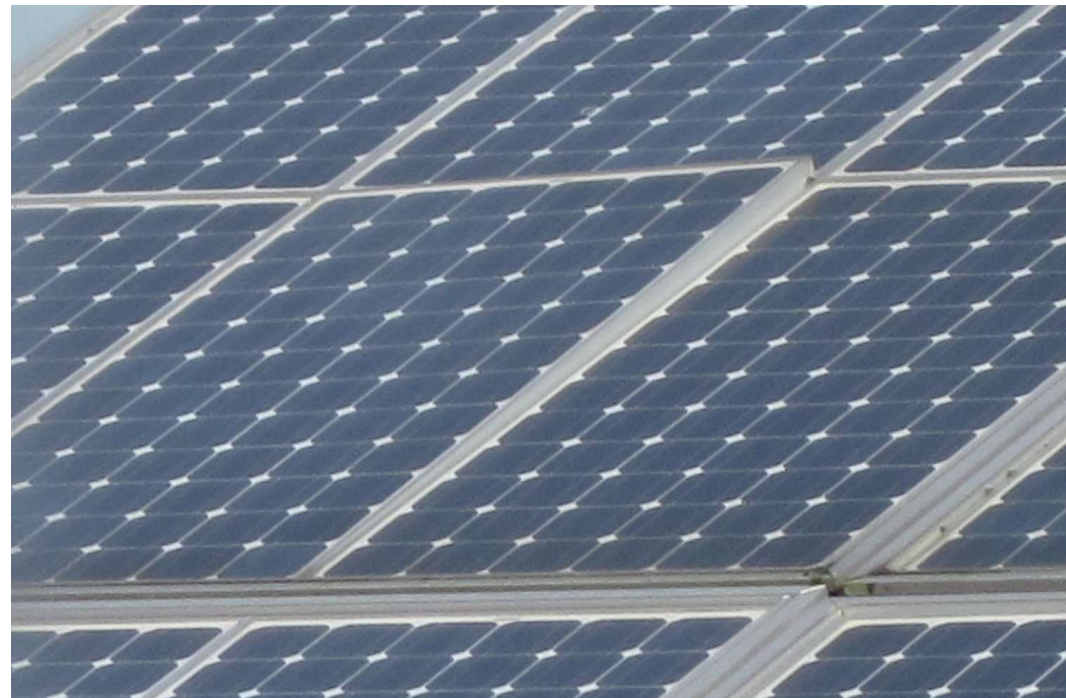


Bild: Sönke Lange

PV-Dachanlage

– Versagen der Klebung PV-Modul/Unterkonstruktion

Die Ursache:

Nur partielle Verklebung, die zur Verfügung stehende Klebfläche wurde nicht ausgenutzt.



Quelle: Sönke Lange

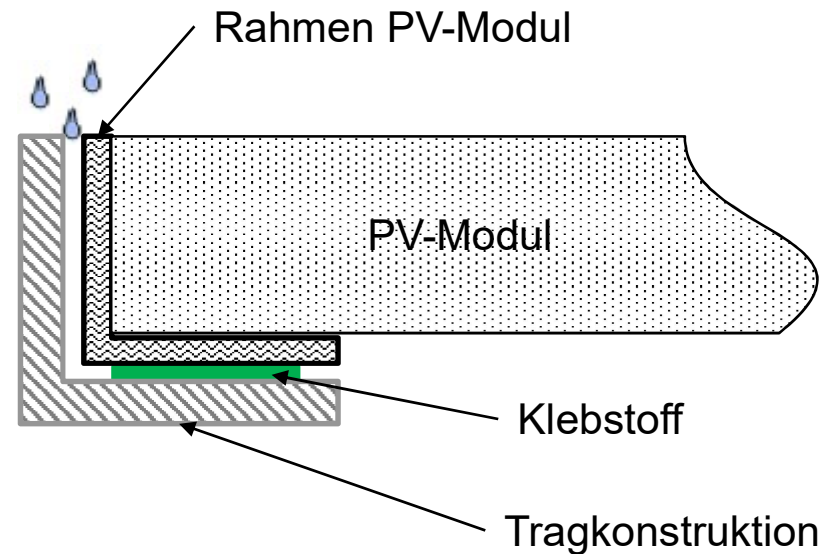
PV-Dachanlage

– Versagen der Klebung PV-Modul/Unterkonstruktion

Die Ursache:

Nur partielle Verklebung, die zur Verfügung stehende Klebfläche wurde nicht ausgenutzt.

Klebstoff schlecht vor Medien-
einflüssen (Feuchtigkeit)
geschützt.



PV-Dachanlage

– Versagen der Klebung PV-Modul/Unterkonstruktion

Die Ursache:

Nur partielle Verklebung, die zur Verfügung stehende Klebfläche wurde nicht ausgenutzt.

Klebstoff schlecht vor Medien-
einflüssen (Feuchtigkeit)
geschützt.

Unzureichende Oberflächenvor-
behandlung und/oder
unzureichende Haftung des
Klebstoffs auf den Aluminium-
profilen.



Bilder: Sönke Lange

PV-Dachanlage

– Versagen der Klebung PV-Modul/Unterkonstruktion

Die Ursache:

Nur partielle Verklebung, die zur Verfügung stehende Klebfläche wurde nicht ausgenutzt.

Klebstoff schlecht vor Medien-
einflüssen (Feuchtigkeit)
geschützt.

Unzureichende Oberflächenvor-
behandlung und/oder
unzureichende Haftung des
Klebstoffs auf den Aluminium-
profilen.

Relativ harter, wenig elastischer
Klebstoff. Geringe Klebschicht-
dicke



Bild: Sönke Lange

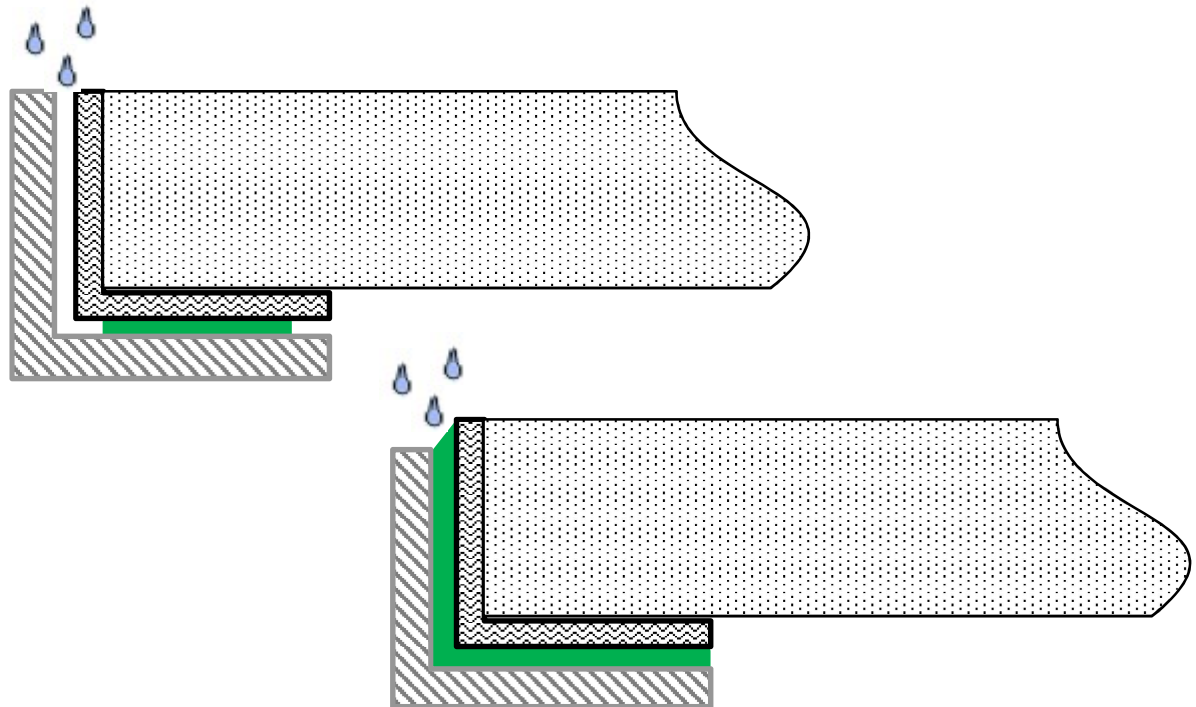
PV-Dachanlage

– Versagen der Klebung PV-Modul/Unterkonstruktion

Die klebtechnisch korrekte Lösung:

Ausnutzen der gesamten zur Verfügung stehenden Klebfläche.

Vermeiden der Gefahr von stehendem Wasser.



PV-Dachanlage

– Versagen der Klebung PV-Modul/Unterkonstruktion

Die klebtechnisch korrekte Lösung:

Ausnutzen der gesamten zur Verfügung stehenden Klebfläche.

Vermeiden der Gefahr von stehendem Wasser.

Geeignete auf den Klebstoff und die Fügeteile abgestimmte Oberflächenvorbehandlung.

Methoden der Oberflächenvorbehandlung

Reinigen, Entfetten

Lösungsmittel,
wässrig

mechanische
(z.B. schleifen),
physikalische
(z.B. beflammen),
chemische
Methoden
(z.B. ätzen)

Konditionierung
Primer
Beschichten
Haftvermittler
Haftreiniger

Ziel der Oberflächenvorbehandlung:

- Entfernen von Verunreinigungen
 - Aufräumen → Oberflächenvergrößerung
 - Erhöhung der Oberflächenenergie → **Verbesserung der Benetzung**

PV-Dachanlage

– Versagen der Klebung PV-Modul/Unterkonstruktion

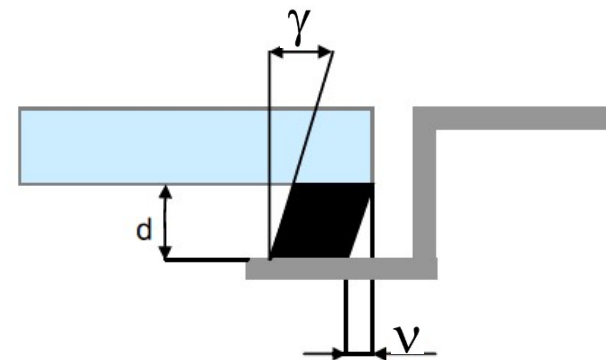
Die klebtechnisch korrekte Lösung:

Ausnutzen der gesamten zur Verfügung stehenden Klebfläche.

Vermeiden der Gefahr von stehendem Wasser.

Geeignete auf den Klebstoff und die Fügeteile abgestimmte Oberflächenvorbehandlung.

Elastischer Klebstoff in ausreichender Schichtdicke.



PV-Dachanlage

– Versagen der Klebung PV-Modul/Unterkonstruktion

Die klebtechnisch korrekte Lösung:

Ausnutzen der gesamten zur Verfügung stehenden Klebfläche.

Vermeiden der Gefahr von stehendem Wasser.

Geeignete auf den Klebstoff und die Fügeteile abgestimmte Oberflächenvorbehandlung.

Elastischer Klebstoff in ausreichender Schichtdicke.

Überprüfung der Belastbarkeit der Klebung

Mechanisch

- Zug-
- Schub-
- Druck-
- Torsion-
- Schäl-
- Spaltbelastung
- statisch
- dynamisch
- schlagartig
- kontinuierlich

Belastungsart

Dauer und Häufigkeit

Eventuelle Wechselwirkungen

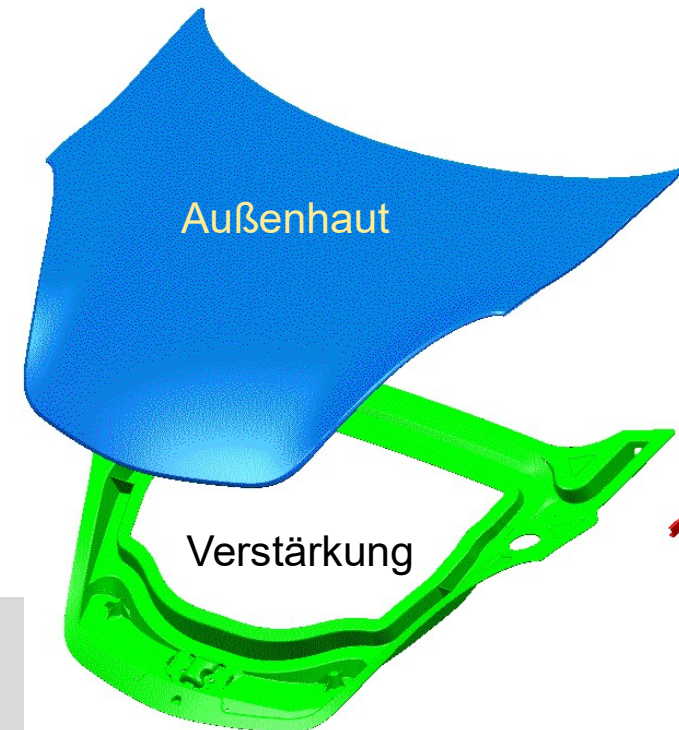
Umgebung

- Temperatur
- Feuchte
- Klima
- Wasser
- chem. Medien
- korrosive Medien
- ...
- statisch
- dynamisch
- wechselnd

SMC-Fronthaube

Sheet Molding Compound (SMC), bezeichnet plattenförmige teigartige Pressmassen aus duroplastischen Reaktionsharzen (unges. Polyester- u. Vinylesterharze), Füllstoffen und Glasfasern (20 – 50 mm) zur Herstellung von Faserverbundformteilen. Ein Zusatz von Styrol und thermoplastischen Bestandteilen reduziert den Härtungsschrumpf bei der Aushärtung in beheizten Pressen.

Klebstoff:	2-k-PU
Vorbehandlung:	Isopropanol
Offene Zeit:	4 Min
Aushärtung:	3 Min @ 110 °C
Zugfestigkeit:	21 MPa
Bruchdehnung:	40 %



SMC-Fronthaube

– Versagen der Klebung schon bei geringem Kraftaufwand



Beobachtetes Versagensbild



Übliches Versagensbild

SMC-Fronthaube

– Versagen der Klebung schon bei geringem Kraftaufwand

Versagensart:

Hoher Anteil an adhäsiven Versagen

Blasen in der Grenzschicht Klebstoff-Fügeteil

Ungewöhnlich starker Styrolgeruch bei der Prüfung

Die Ursache:

- Unzureichende SMC-Aushärtung
- Restmengen Styrol werden bei der wärmeunterstützten Klebstoffhärtung unter Volumenvergrößerung dampfförmig freigesetzt
- Blasenbildung, Zerstörung der Adhäsion



Beobachtetes Versagensbild

Abhilfe:

- Tempern der SMC-Bauteile vor dem Kleben
- Verlängerung der Presszeit bei der Herstellung der SMC-Bauteile

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Fragen?



Weitere Informationen:

www.how-do-you-glue.de

Leitfaden Kleben – aber richtig
Industrieverbands Klebstoffe e.V.

<http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>