



Kleben kann eben doch nicht jeder

- Am Anfang war da eine gute Idee
- Das Ergebnis
- Was ist schiefgelaufen?
 - Planung
 - Nachweisführung
 - Umsetzung
- Resümee



Die gute Idee

- Die Stückweise Montage von Solarzellen auf einem Dach ist Zeitaufwendig
 - hohe Personalkosten
 - und/oder hohe Kranmiete



Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

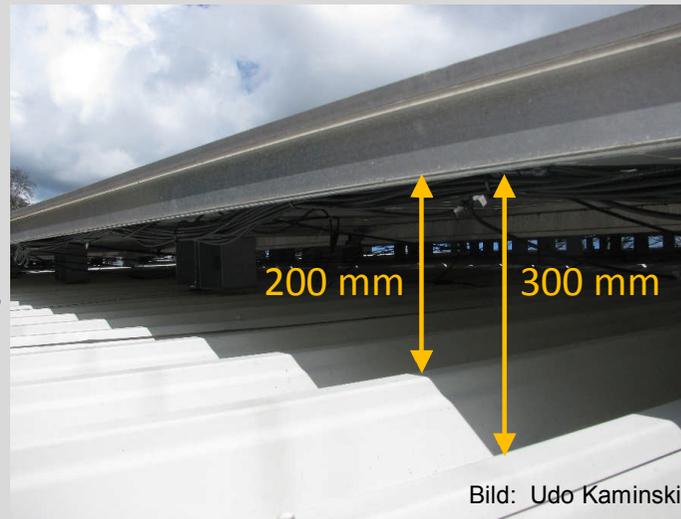
Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Die gute Idee

- Die Stückweise Montage von Solarzellen auf einem Dach ist Zeitaufwendig
 - hohe Personalkosten
 - und/oder hohe Kranmiete
- Eine gute Hinterlüftung der PV-Module, erreicht durch Vergrößerung des Abstands zwischen Dachhaut und PV-Module verbessert den Wirkungsgrad insbesondere an warmen Tagen.



Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Die gute Idee

- ➔ Industrielle Vormontage der PV-Module mittels Kleben auf einer Unterkonstruktion und anschließender Montage der Sektionen auf dem Dach.

Kleben der PV-Module auf die Unterkonstruktion

Bild: DEMA Dieter Enghausen GmbH



Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Die gute Idee

- ➔ Industrielle Vormontage der PV-Module mittels Kleben auf einer Unterkonstruktion und anschließender Montage der Sektionen auf dem Dach.



Transport zur Baustelle

Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Die gute Idee

- ➔ Industrielle Vormontage der PV-Module mittels Kleben auf einer Unterkonstruktion und anschließender Montage der Sektionen auf dem Dach.



Bilder: Sönke Lange

Montage der Sektionen auf dem Dach

Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Das Ergebnis

Fertigstellung
April 2010



Am Anfang war da
eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist
schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

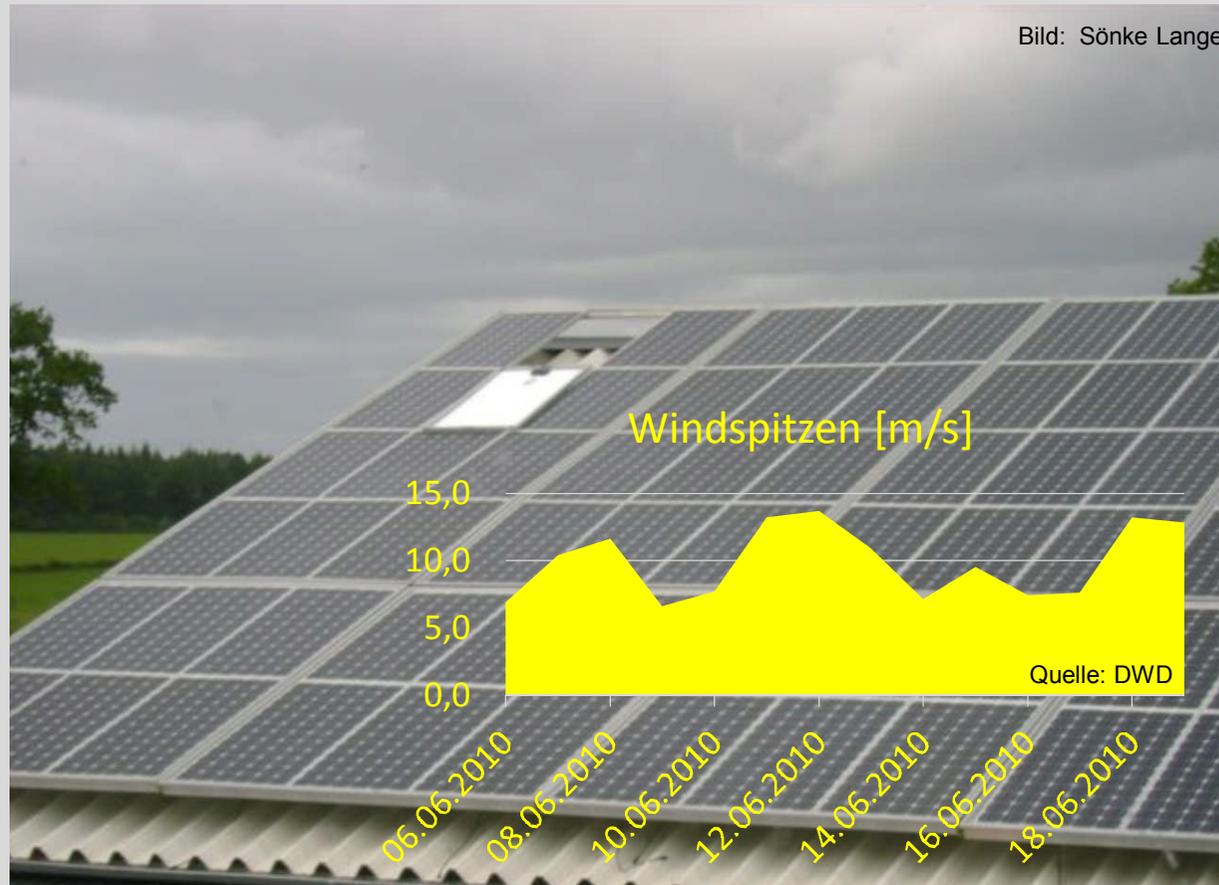
Resümee

Das Ergebnis

19.06.2010

Nach einigen stürmischen Sommertagen mit Windgeschwindigkeiten bis zu 14 m/s.

Ein erstes PV-Modul hat sich, bereits 2 Monate nach Fertigstellung gelöst.



Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Das Ergebnis

12.04.2011

Nach einigen stürmischen Frühlings-
tagen mit Windge-
schwindigkeiten bis
zu 21 m/s.

Es haben sich drei
PV-Module gelöst.



Am Anfang war da
eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist
schiefgelaufen?

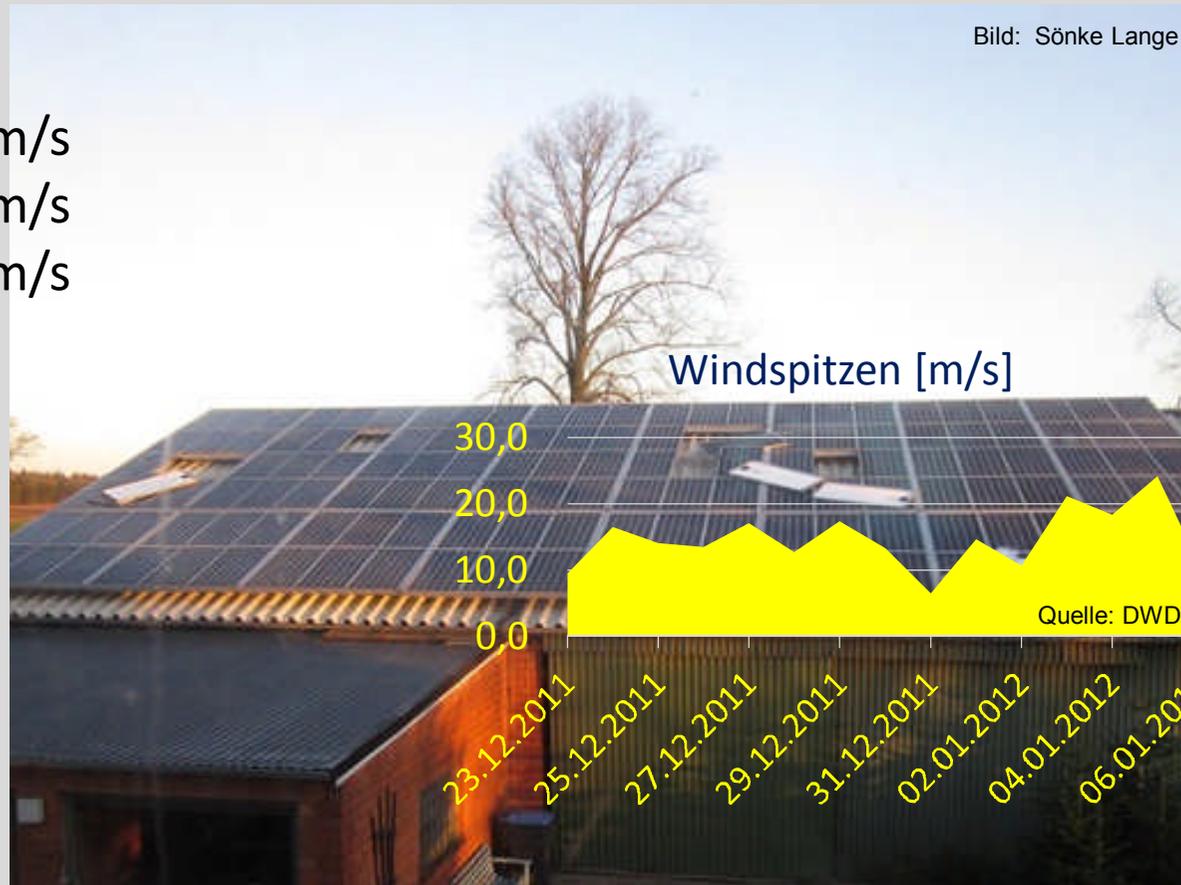
- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Das Ergebnis

09.10.2011	16,4 m/s
24.12.2011	16,5 m/s
05.01.2012	24,1 m/s

Weitere einzelne PV-Module wurden vom Dach geweht.



Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

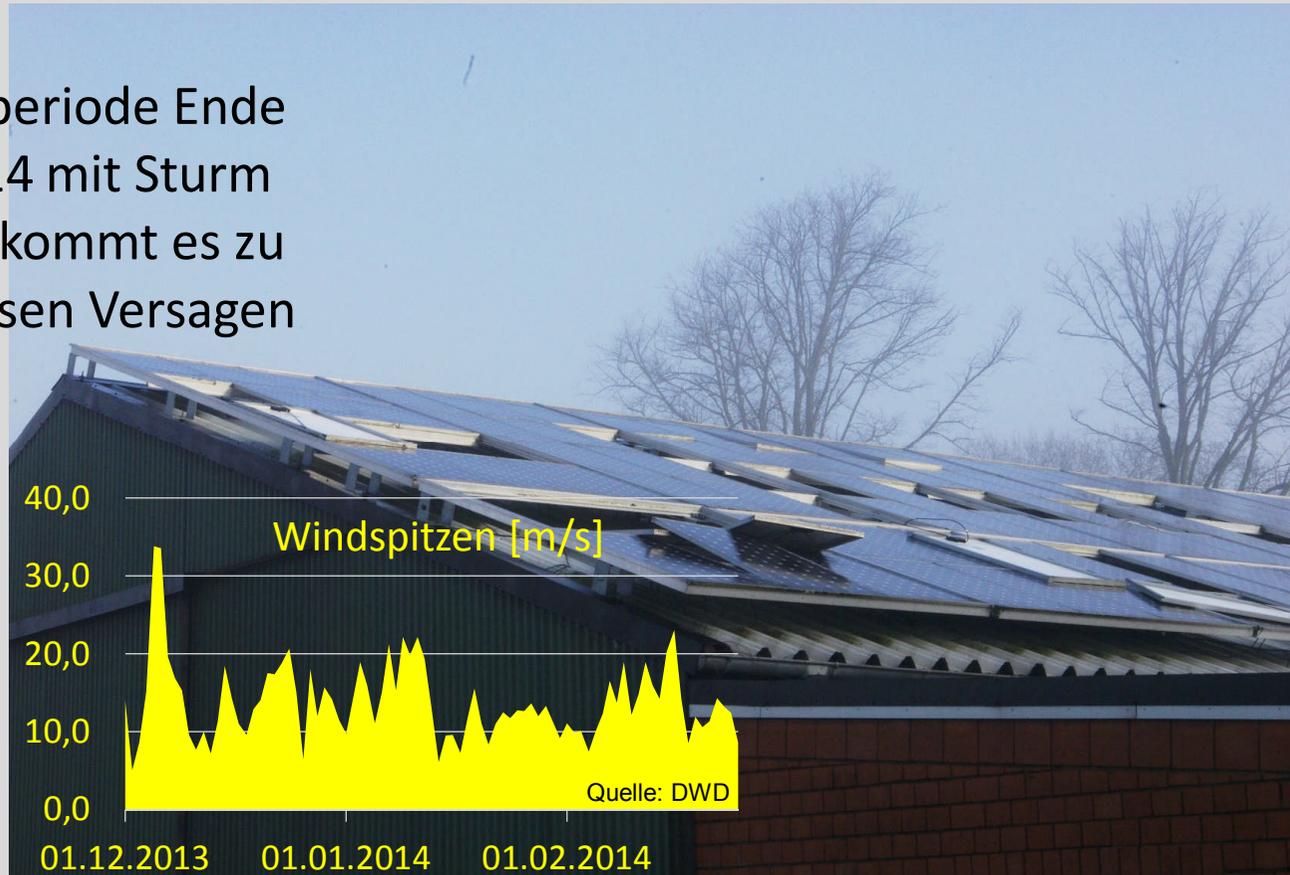
Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Das Ergebnis

Bei einer Sturm-periode Ende 2013/Anfang 2014 mit Sturm Xaver (05.12.13) kommt es zu einem reihenweisen Versagen der Klebungen.



Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Was ist schief gelaufen?

Erkenntnisse aus der im Rahmen einer Gutachtenerstellung durchgeführten Schadensanalyse und Ursachenforschung

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung Belastbarkeit > Belastung
- Handwerkliche Umsetzung



Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Was ist schief gelaufen?

- Planung

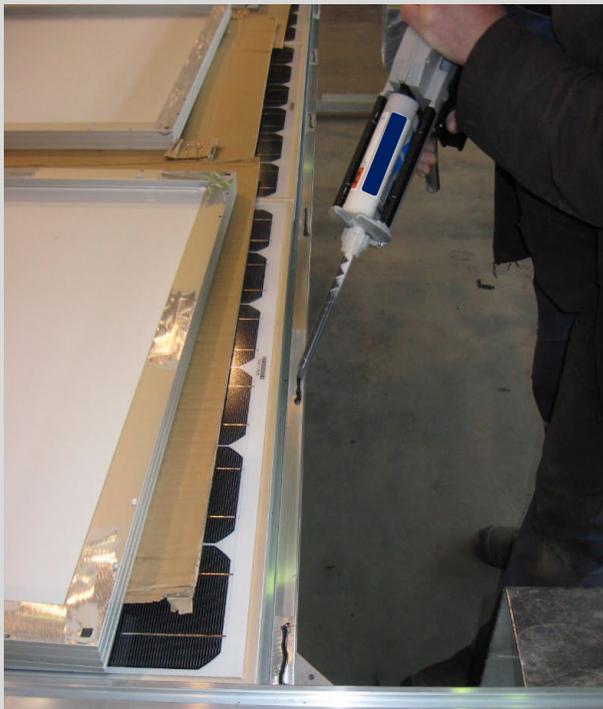
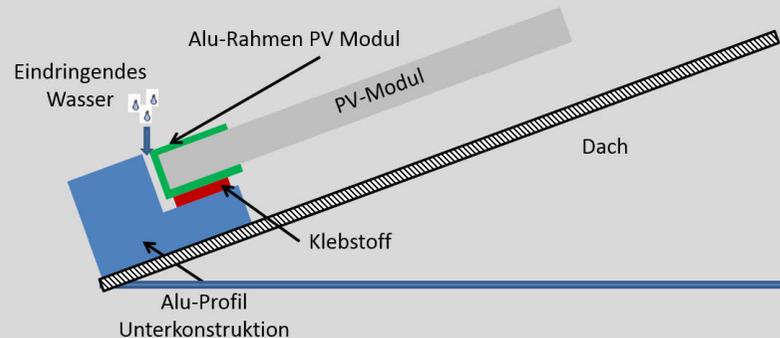
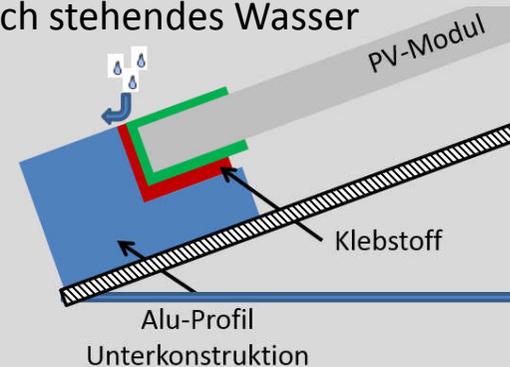


Bild: DEMA Dieter Enghausen GmbH

Unvollständig gefüllter Klebflansch erlaubt Belastung durch stehendes Wasser



Vollständig gefüllter Klebflansch verhindert Belastung durch stehendes Wasser



... und erhöht über die Vergrößerung der Klebfläche die zu übertragenden Lasten

Am Anfang war da eine gute Idee
Das Ergebnis

Was ist schief gelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

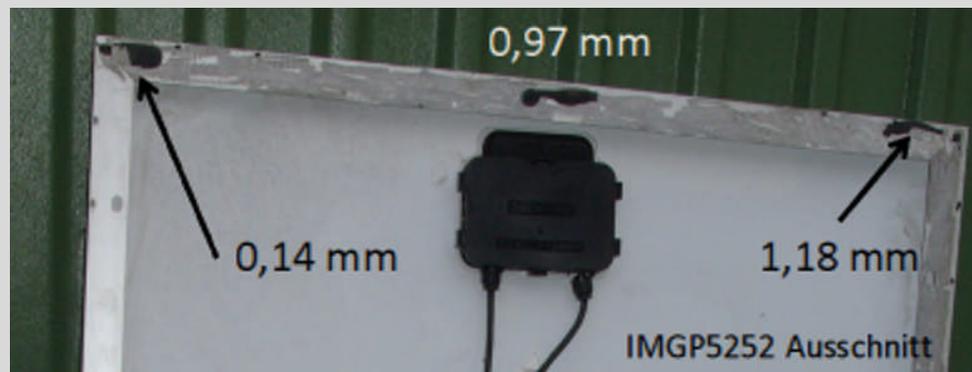
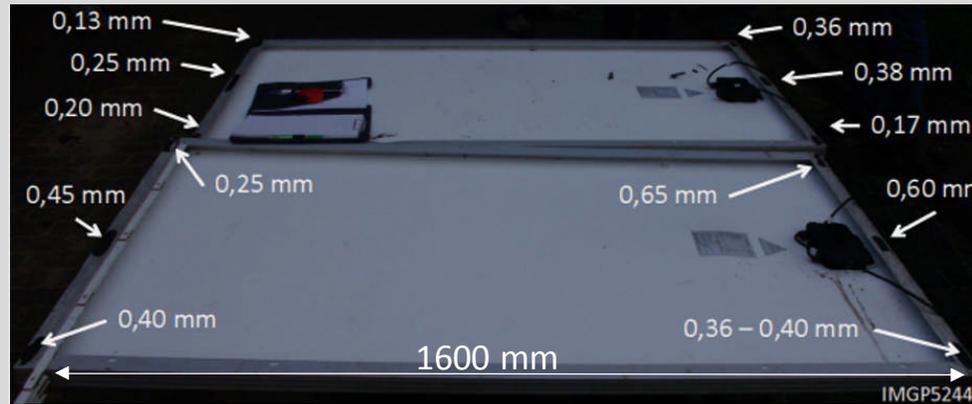
Kleben kann eben doch nicht jeder

Was ist schief gelaufen?

- Planung

Ein ΔT von 10 °C zwischen Rahmen PV-Modul und Unterkonstruktion bedeutet ein reale Längendifferenz von 0,37 mm.

Dies hätte bei der Festlegung der Klebnahtdicke in Abhängigkeit des Klebstoffs berücksichtigt werden müssen



Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Was ist schief gelaufen?

- Klebstoffauswahl

2-k-PU-Klebstoff ausgewählte technische Daten

Verarbeitungszeit 100 g Ansatz	7	min
Aushärtungszeit bis Handhabungs-/Endfestig bei RT	2 / 72	h
Zugscherfestigkeit (Al/Al, sandgestrahlt) bei RT/100 °C	15 / 3	MPa
Zugfestigkeit	10	MPa
Reißdehnung	25	%
E-Modul	100	MPa
Shore Härte A / D	90 / 50	
Glasübergangstemperatur	40	°C
Längenausdehnungskoeffizient	167	ppm/K



Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- **Klebstoffauswahl**
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee



Was ist schief gelaufen?

- Klebstoffauswahl

2-k-PU-Klebstoff		ausgewählte technische Daten	
Reißdehnung		25	%

Ein ΔT von 10 °C zwischen Rahmen PV-Modul und Unterkonstruktion bedeutet eine reale Längenänderung von 0,37 mm.

Bei 1,18 mm Schichtdicke entsprechen 25 % Reißdehnung \approx 0,3 mm

Bei 0,14 mm Schichtdicke entsprechen 25 % Reißdehnung 0,035 mm

➔ Klebschichtdicke und Klebstoff passen nicht zur Anwendung

Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- **Klebstoffauswahl**
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Was ist schief gelaufen?

- Nachweisführung



- Windlastzone 4 (bis 30 m/s = Bft 11)
über 10 Min, gemessen in 10 m Höhe
- Berechnung der auftretenden Lasten

$$F = F_{\text{Schneelast}} + F_{\text{Gewicht}} + F_{\text{Wind}}$$

➤ 30 m/s - 108 km/h - Bft 11

$$F_1 = 1,946 \text{ kN}$$

➤ 54 m/s - 194 km/h - >> Bft 12

$$F_2 = 3,258 \text{ kN}$$

- Berechnung Belastbarkeit

$$F_{\text{zulässig}} = \text{Zugfestigkeit} * \text{Klebfläche}$$

$$F_{\text{zulässig}} = 10 \text{ N/mm}^2 * 32000 \text{ m}^2 = 320 \text{ kN}$$

➔ $F_{\text{zulässig}} \gg F_1$ und $F_{\text{zulässig}} \gg F_2$

Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- **Nachweisführung**

- Umsetzung

Resümee

Was ist schief gelaufen?

- Nachweisführung



Aber:

- Zugfestigkeit als Maß für die Kohäsion ist als alleinige Grundlage unzureichend
 - Adhäsion hätte berücksichtigt werden müssen
 - Neben Kräften senkrecht zur Klebfläche treten auch Schäl- und Spaltbelastungen auf
 - Spannungen aufgrund $\Delta\alpha$ wurden nicht berücksichtigt
 - Alterungseinflüsse wurden nicht berücksichtigt
 - Keine Verifizierung durch Versuche

Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

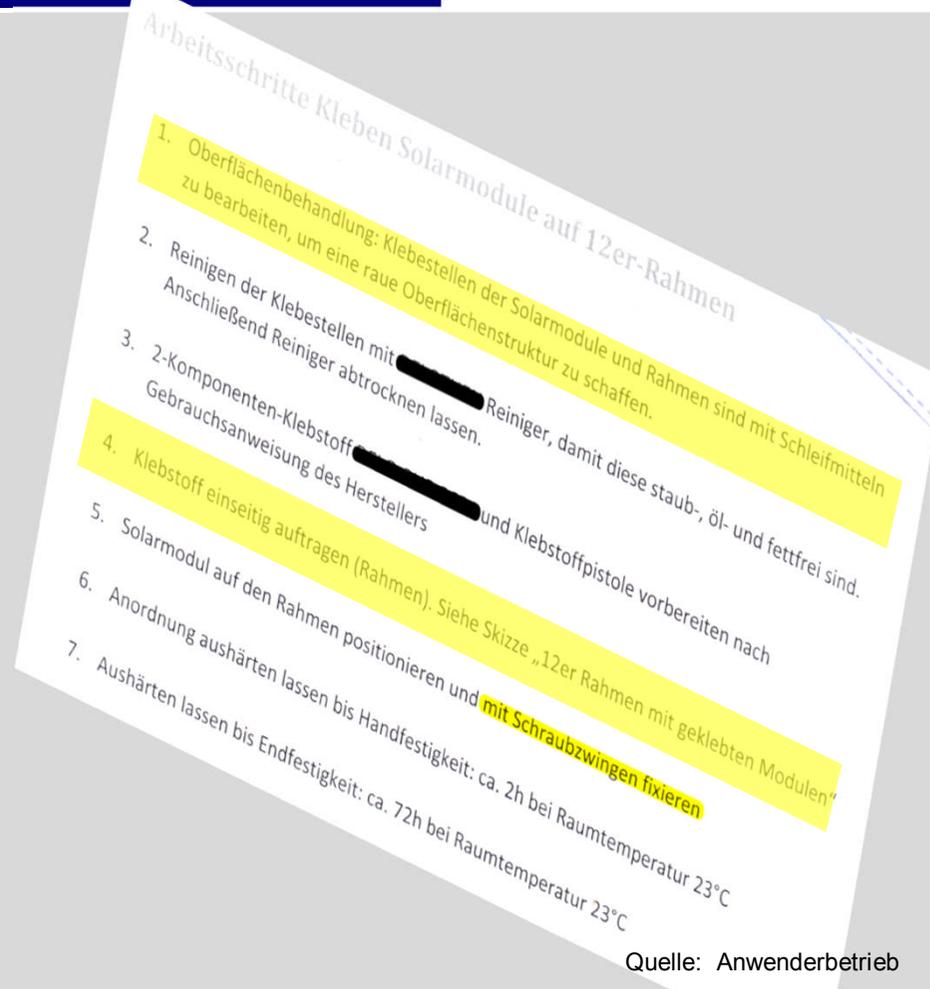
Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- **Nachweisführung**
- Umsetzung

Resümee

Was ist schief gelaufen?

- Umsetzung
 - Arbeitsanweisung



Am Anfang war da eine gute Idee
Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- **Umsetzung**

Resümee

Was ist schief gelaufen?

- Umsetzung
 - Oberflächenvorbehandlung
 - vor dem Schleifen hätte gereinigt werden müssen
 - in wie weit das Aufräumen mit Winkelschleifer geeignet und reproduzierbare Ergebnisse liefert ist zumindest zweifelhaft



Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

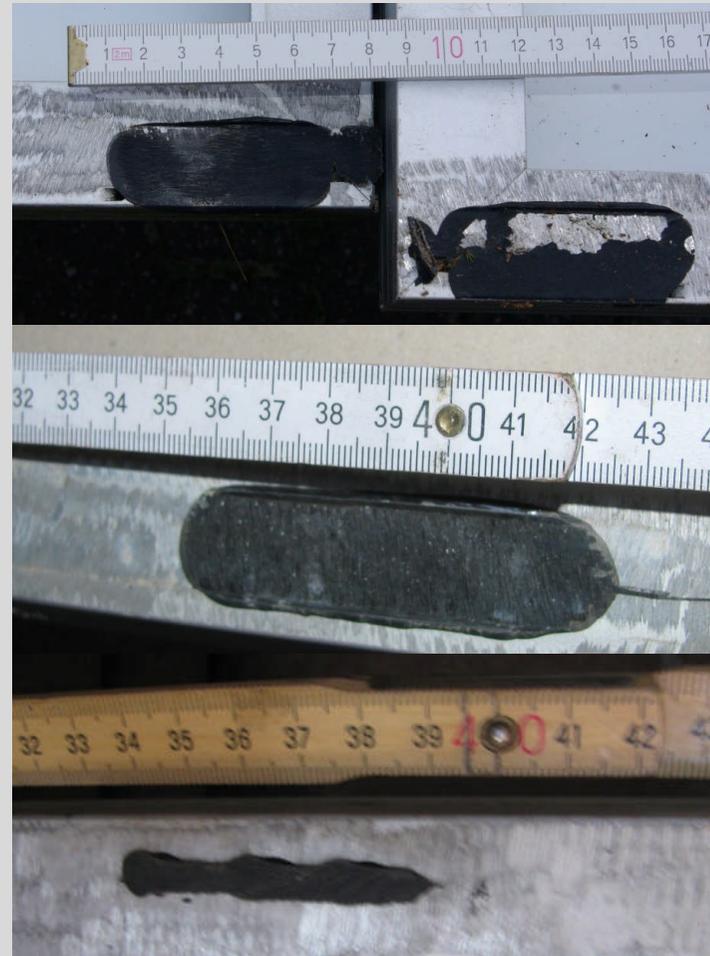
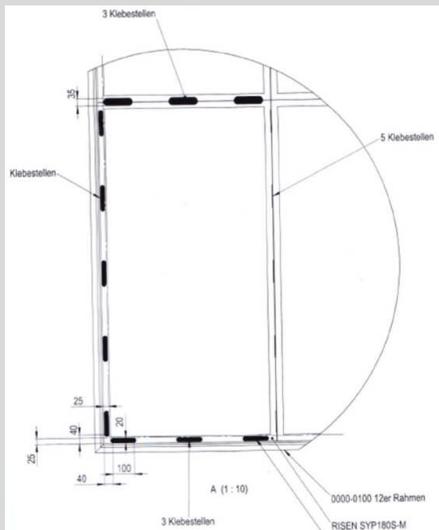
- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung

• Umsetzung

Resümee

Was ist schief gelaufen?

- Umsetzung
 - Klebfläche
 - Soll: 100 x 20 mm
 - Ist: 70 x 20 mm
 - 65 x 20 mm
 - 45 x 5 mm



Am Anfang war da eine gute Idee
Das Ergebnis

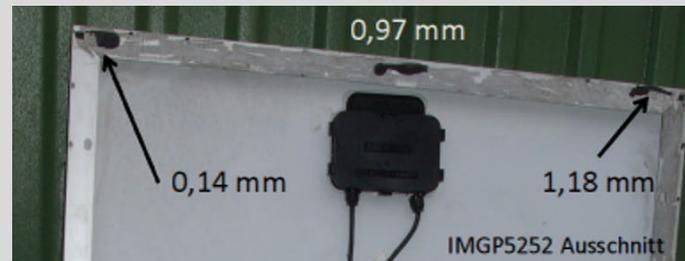
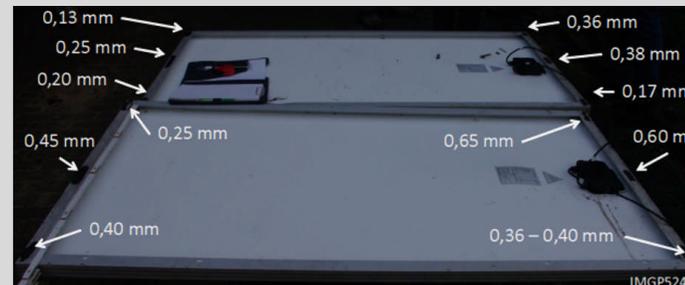
Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- **Umsetzung**

Resümee

Was ist schief gelaufen?

- Umsetzung
 - Klebschichtdicke
 - Weder die Klebstoffmenge noch die Klebschichtdicke und wie diese eingestellt werden soll sind in der Arbeitsanweisung festgeschrieben
 - Soll: keine Angabe
 - Ist: 0,14 – 1,18 mm



Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

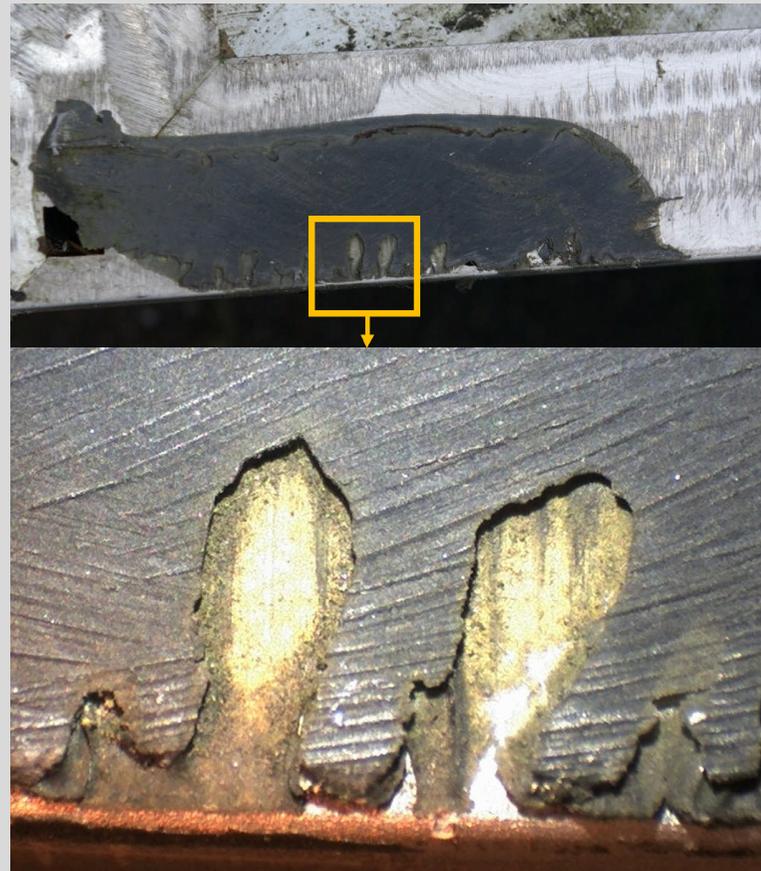
Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- **Umsetzung**

Resümee

Was ist schief gelaufen?

- Umsetzung
 - Positionierung und Fixierung mit Schraubzwingen
 - Ohne Abstandshalter besteht die Gefahr den Klebstoff „auf Null“ zu verpressen
 - Gefahr der Relativbewegung senkrecht zur Klebfläche Setzen und Anziehen der Zwingen „Schwammiges Bruchbild“



Am Anfang war da eine gute Idee
Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung

• Umsetzung

Resümee

Resümee



Einstufung gem. DVS 3310: mind. Q2
gem. DIN 2304-1: mind. S2

Bei einer

- Auslegung und Dimensionierung der Klebung unter Berücksichtigung der Grundlagen einer klebgerechten Konstruktion
- unter Berücksichtigung der an die Verklebung gestellten Anforderungen erfolgenden Klebstoffauswahl einschließlich der Festlegung einer Methode zur Klebflächenvorbehandlung
- Nachweisführung mit Absicherung der Klebfugeneigenschaften auch Langzeiteinflüsse berücksichtigende Prüfungen
- einer sorgfältigen, den vorab ermittelten Anforderungen entsprechenden Ausführung der Klebung
- einem implementierten Qualitätsmanagementsystem mit entsprechenden, festgeschriebenen Qualitätssicherungsmaßnahmen (gem. DVS 3310)

wäre es aller Wahrscheinlichkeit nicht zu dem aufgetretenen reihenweisen Versagen gekommen.

Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Resümee

Kleben kann und sollte auch nicht jeder!

... was nicht heißen soll, dass ich das Kleben im Kindergarten, in der Schule oder zuhause beim Basteln verbieten möchte 😊



Am Anfang war da eine gute Idee

Das Ergebnis

Was ist schiefgelaufen?

- Planung
- Klebstoffauswahl
- Nachweisführung
- Umsetzung

Resümee

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit