

Prüfungsbericht

1. Ausfertigung

Auftraggeber: SM-Befestigungssysteme GmbH
Teinacher Str. 38
71634 Ludwigsburg

Auftrags-Nr. (Kunde): 20495

Auftrags-Nr. (MPA): **901 8313 000**

Prüfgegenstand: **Prüfung von Klemmverbindungen für die Befestigung von Solarmodulen und Schneefangeinrichtungen**

Prüfspezifikation: DIN EN 10002-1, DIN EN ISO 898, DIN 18800, DIN V 4113-3, DIN EN 1990, DIN EN 1999-1-1, DIBt-Zulassung Z-30.3-6

Eingangsdatum des Prüfgegenstandes: -

Datum der Prüfung: 08.09. – 03.10.2009

Datum des Berichts: 17.02.2010

Seite 1 von 9 Textseiten

Beilagen: 16

Anlagen: 0

Gesamtseitenzahl: 25

Anzahl der Ausfertigungen: 1. – 3. Ausfertigung: SM-Befestigungssysteme GmbH
4. Ausfertigung: MPA Universität Stuttgart, Abteilung 52100
5. Ausfertigung: MPA Universität Stuttgart, Referat 52110

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.

Veröffentlichung des vorliegenden Berichtes (auch auszugsweise) ist nur mit schriftlicher Genehmigung der MPA Universität Stuttgart zulässig.

- 1 Aufgabenstellung**
- 2 Durchgeführte Untersuchungen**
- 3 Prüfergebnisse**
- 4 Zusammenfassung**
- 5 Ergebnisinterpretation und Empfehlungen**

1. Aufgabenstellung

Durch die Firma SM-Befestigungssysteme GmbH, 71634 Ludwigsburg werden für Doppelfalzdächer unter anderem Klemmverbindungen („SM-Klemmfaust“) für die Befestigung von Solarmodulen und Schneefangeinrichtungen hergestellt und vertrieben. Für diese Klemmverbindungen wurde nach Angabe der Firma ein EU-Patent Nr. 0594 948 erteilt (s. hierzu Bilder 1 bis 3, Beilagen 1 und 2).

Die Befestigung der Doppelfalzdächer auf der darunter befindlichen Dachkonstruktion erfolgt im allgemeinen nach den Fachregeln der Klempnertechnik (siehe Bilder 4 und 5 der Beilagen 3 und 4).

Experimentelle Untersuchungen zur Brauchbarkeit der produzierten Klemmverbindungen für Solarmodule und Schneefangeinrichtungen liegen bisher nicht vor.

Aus diesem Grund wurde die MPA Universität Stuttgart durch die Firma SM-Befestigungssysteme GmbH mit Schreiben vom 08.09.2009 beauftragt, die notwendigen Voruntersuchungen zu den Klemmverbindungen, insbesondere zwischen „SM-Klemmfaust“ und Aluminium-Stehfalzdach durchzuführen und die Ergebnisse in einem Prüfungsbericht darzustellen.

Untersuchungen zum Korrosionsschutz der Konstruktion sowie zu anderen Elementen der tragenden Konstruktion waren nicht Auftragsbestandteil der MPA Stuttgart.

2. Dokumente

Zur Auftragsbearbeitung lagen der Materialprüfungsanstalt Stuttgart folgende Unterlagen vor:

/1/ Schematischer Aufbau der Klemmverbindung (Bild 3, Beilage 2)

/2/ Fachregeln für Klempnertechnik, Ausgabe 10/98/ (Bilder 4 und 5, Beilage 3 und 4)

3. Durchgeführte Untersuchungen

Die bei den Versuchen eingesetzte Klemmverbindung („Klemmfaust aus Aluminium“ Artikel-Nr. SM-KAS ohne Aluminiumwinkel) bestand aus folgenden Elementen:

- Aluminiumprofil aus EN AW - 6060 T66
- Flachrundschrauben mit Vierkantansatz DIN 603 - M12 x 35 A2-70
- Unterlegscheibe ISO 7089 - A2-Ø13 (DIN 125 A)
- Sechskantmutter DIN 934 - M12, A4-80 und
- Zylinderstift ISO 2338 – 4 x 7 - A1

Die Untersuchungen an den Klemmverbindungen erfolgten an Aluminium-Doppelfalzdach-Elementen, welche der MPA Stuttgart durch die Firma SM-Befestigungssysteme GmbH überbracht wurden.

Die Falzdachelemente bestanden hierbei aus einer Holzleimplatte der Abmessung 26x620x1000 (mm), auf welcher in Längsrichtung der Platte mittig in einem Abstand von 500 mm 2 Schiebehafte (Artikel-Nr. SM-Ese25) mit je 3 Kreuzschlitz-Sechskantschrauben 4x20 (mm) A2 befestigt waren. Beidseitig neben der gemeinsamen Achse der Schiebehafte waren die Dachhautelemente angeordnet, so dass sich der Doppelfalz mittig über den Schiebehafte befand.

Für alle Versuche wurde als Bedachungsmaterial (Dachhaut) der Werkstoff AlMn1Mg0,5 H41 nach DIN EN 573 / DIN EN 1396 (FALZONAL® NOVELIS WG-C4S) in einer Dicke von 0,7 mm verwendet.

Die Sichtseite der FALZONAL-Dachhaut bestand dabei aus einem braunen PVdF-Beschichtungssystem. Die Lackschichtdicke wird vom Hersteller zwischen ca. 25 bis 40 µm angegeben. Die Stehfalzhöhe betrug ca. 25 mm.

Mit den hier beschriebenen Untersuchungen sollte zunächst der Nachweis erbracht werden, dass die hergestellten Klemmverbindungen bei Beanspruchung rechtwinklig zur Dachhaut die auftretende Gleitlast (als Bemessungswiderstand) mindestens den in Abschnitt 9.6.1 von /2/ genannten Auszugswert von 560 N erreichen.

Aus diesem Grund wurden bei den durchgeführten Versuchen über die Probekörper beidseitig neben dem Stehfalz Stahlwinkel aufgeklemt, um somit nur die Verschiebungen der Klemmverbindung („Klemmfaust“) gegenüber der Dachhaut über die Wegaufnehmer experimentell zu erfassen (Bilder 6 und 7, Beilage 9).

Wegen der eingesetzten Werkstoffe (Aluminiumlegierung, Schrauben, Unterlegscheiben und Muttern) können die in DIN 18800-7 aufgeführten Anziehmomente M_A für die Schraubverbindung nicht angewendet werden.

Zur Bestimmung des erforderlichen Anziehmoments M_A musste daher zunächst für die eingesetzten Schrauben der Zusammenhang zwischen Zugkraft und Schraubenverlängerung im elastischen Bereich in Anlehnung an DIN EN ISO 898 experimentell bestimmt werden.

Danach wurde an Probenelementen eine Momenten-Schraubenverlängerungs-Charakteristik aufgenommen. Für den elastischen Beanspruchungsbereich wurden aus der Kombination beider Diagramme die notwendige Vorspannkraft F_V und das zugehörige Anziehmoment M_A bestimmt.

Weiterhin wurden Gleitlastversuche mit je 3 Probekörpern in x- und z-Achse des Al-Profiles durchgeführt. Abweichend von der Darstellung in Bild 3 auf Beilage 2 wurden bei allen Versuchen die Klemmverbindungen mit der Zylinderstiftseite auf der dem Doppelfalz gegenüberliegenden Seite angeordnet. Diese Anordnung der Klemmverbindung auf dem Doppelfalz entspricht somit der in Bild 2 (Beilage 1) dargestellten Ausführung. Außerdem wurden unterhalb der Mutter Unterlegscheiben ISO 7089 - A2-Ø13 angeordnet, um einen definierten Reibbeiwert zwischen Mutterunterseite und Unterlegscheibe sicher zu stellen.

Die Ergebnisse wurden in Diagrammen und Tabellen dargestellt.

4. Prüfergebnisse

- Vorversuche zur Umsetzung von Anziehmomenten in Vorspannkraft

Mit den vorgenannten Flachrundschauben mit Vierkantansatz (DIN 603 - M12x35 A2-70) der Klemmverbindung wurde zunächst in Anlehnung an DIN EN ISO 898 an 3 Schrauben eine Zugkraft- Schraubenverlängerungs-Charakteristik aufgenommen (s. Diagramm 1, Beilage 5) und eine Momenten-Schraubenverlängerungs-Charakteristik für die Klemmverbindung bestimmt. Eine zusätzliche Schmierung der Schrauben, Unterlegscheiben und Muttern erfolgte hierbei nicht. Aus der Kombination der beiden Diagramme wurden die Vorspannkraft F_v zu den jeweiligen Anziehmomenten M_A errechnet und in Tabelle 1 der Beilage 6 aufgeführt sowie im Diagramm 2, Beilage 6 grafisch dargestellt.

Für die weiteren Versuche an der Klemmverbindung wurde unter Berücksichtigung der auftretenden Flächenpressung unter der Unterlegscheibe festgelegt, ein Anziehmoment $M_A = 75$ Nm anzuwenden.

- Querlastversuche rechtwinklig zur Dachhaut

An 3 Probekörpern wurden Querlastversuche (V2-V4) rechtwinklig zur Dachhaut (in Z-Achse des Al-Profiles nach EC 9) durchgeführt, um die Gleitlast F_G mit der dazugehörigen Verschiebung festzustellen. Der Versuchsaufbau ist aus den Bildern 6 und 7 der Beilage 9 ersichtlich. Der Anschluss an die Zuglaschen wurde so ausgeführt, dass keine zusätzliche Klemmkraft auftrat.

In allen Diagrammen wird die Verschiebung des Al-Profiles um die Verschiebung der Dachhaut reduziert wiedergegeben.

Der Versuch 1 musste vorzeitig abgebrochen werden, da beim Probeneinbau keine mittige Krafteinleitung in das Al-Profil erreicht wurde und damit Schrägzug auf die Klemmverbindung eingeleitet wurde.

Die Versuchsergebnisse der Versuche (V2 bis V4) sind im Diagramm 3 der Beilage 6 dargestellt. Die jeweiligen Einzelergebnisse können aus den Diagrammen 4 bis 6 (Beilagen 7 und 8) entnommen werden.

Die Kraft-Verschiebungs-Kurven aller Diagramme weisen ein unregelmäßiges Erscheinungsbild auf. Dies ist auf die kugelförmige Tasteroberfläche des Wegaufnehmers und auf die radiusförmige Oberfläche des Al-Profiles bzw. des Doppelfalzes zurückzuführen. In Anlehnung an EC 9 wurden die Gleitlasten aus den Diagrammen bei einer Verschiebung $\Delta l = 0,15$ mm bestimmt.

Beim Querlastversuch 2 wurden beim Probeneinbau die Wegaufnehmer WA 2 und WA 4 offenbar nicht ausreichend genau platziert, was durch einen springenden Kurvenverlauf im Diagramm zu erkennen ist.

Für die Auswertung wurde daher nur die Verschiebung des Weg1 – Weg3 berücksichtigt.

In Anlehnung an EC 9 wurden die Gleitlasten aus den Diagrammen bei einer Verschiebung von $\Delta l = 0,15$ mm bestimmt.

Folgende Gleitlasten F_{GV_i} wurden bei den Einzelversuchen erreicht:

Tabelle 1

Lfd. Nr	Versuch-Nr.	Verschiebung WA 1 (mm)	Gleitlast F_{GV_i} (kN)
	1	2	4
1	V2	0,15	3,10
2	V3	0,15	4,91
3	V4	0,15	4,89
4	Mittelwert \bar{x}	-	4,30
5	Streuung s	-	1,04
6	5%-Fraktilwert	-	0,80

Wegen der geringen Versuchsanzahl und der hohen Streuung der gemessenen Werte ergab sich der 5%-Fraktilwert der Gleitlast rechtwinklig zur Dachhaut zu $F_{GV5} = 0,8$ kN. Die Berechnung des Fraktilwertes erfolgte nach DIN EN 1990, Anhang D mit unbekannter Standardabweichung.

Das Aussehen der Proben V2 bis V3 nach Versuche ist aus den Bildern 8 bis 10 der Beilage 10 ersichtlich.

- Querlastversuche parallel zum Al-Klemmprofil

An 3 Probekörpern wurden Querlastversuche (V2-V4) parallel zum Al-Klemmprofil (in x-Achse des Al-Profiles nach EC 9) mit Krafeinleitung in der Schraubenachse durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist aus den Bildern 11 bis 14 der Beilagen 13 und 14 ersichtlich. Der Anschluss an die Zuglaschen

wurde so ausgeführt, dass keine zusätzliche Klemmkraft auftrat. Der Versuch V1 wurde zur Überprüfung der Messeinrichtung genutzt.

Die Ergebnisse aus den Versuchen V2 bis V4 sind in den Diagrammen 7 bis 9 (Beilagen 11 und 12) dargestellt.

In Anlehnung an EC 9 wurden die Gleitlasten aus den Diagrammen bei einer Verschiebung von $\Delta l = 0,15$ mm bestimmt.

Folgende Gleitlasten F_{GVi} wurden bei den Einzelversuchen erreicht:

Tabelle 2

Lfd. Nr	Versuch-Nr.	Verschiebung WA 1 (mm)	Zug. Verschiebung WA 2 (mm)	Gleitlast F_{GVi} (kN)
	1	2	3	4
1	V2	0,15	0,354	3,47
2	V3	0,15	0,000	2,85
3	V4	0,15	0,207	2,63
4	Mittelwert \bar{x}	-	-	2,98
5	Streuung s	-	-	0,43
6	5%-Fraktilwert	-	-	1,53

Wie aus den Verschiebungswerten des Wegaufnehmers WA2 für die Versuche V2 und V4 der Tabelle 2 ersichtlich ist, bewirkt das Exzentrizitätsmoment resultierend aus dem Versatz zwischen Schraubenachse und Mitte Klemmfläche eine Abtriebskraft. Bei Versuch V3 konnte diese Verschiebung nicht festgestellt werden.

Wie aus den Ergebnissen des Versuchs V2 erkennbar ist, kann der Weg WA 2 (rechtwinklig zur Dachhaut) gegenüber dem Gleitweg (WA 1) relativ groß werden.

Der 5%-Fraktilwert der Gleitlast bei einer Verschiebung $\Delta l = 0,15$ mm wurde zu $F_{GX5} = 1,53$ kN ermittelt. Die Berechnung des Fraktilwertes erfolgte nach DIN EN 1990, Anhang D mit unbekannter Standardabweichung.

- Bemessungswerte des Widerstandes

Der charakteristische Wert des Widerstandes R_k nach DIN EN 1999-1-1 entspricht im vorliegenden Fall dem ermittelten 5% Fraktilwert x_5 des jeweiligen Widerstandes.

Der Bemessungswiderstand R_d ergibt sich nach DIN EN 1999-1-1/A1: 2008 (Entwurf) zu

$$R_d = \frac{R_K}{\gamma_{M,i}}$$

Nach Abschnitt 3.2.1 (2) der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 vom 20.04.09 dürfen Nichtrostende Schraubverbindungen nicht planmäßig vorgespannt werden, um mögliche Kriecherscheinungen bei Zugbeanspruchung zu vermeiden.

Die MPA Stuttgart empfiehlt daher, für den Bemessungswiderstand R_d den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1,25$ für den Tragsicherheitsnachweis von 10% zu erhöhen, um diese Werkstoffeigenschaften der Nichtrostenden Schrauben zu berücksichtigen. Für den Tragsicherheitsnachweis ergibt sich somit $\gamma_M = 1,25 \cdot 1,1 = \underline{1,375}$.

Somit ergibt sich der Bemessungswiderstand R_d für die Beanspruchung rechtwinklig zur Dachhaut

$$R_d = 0,8 / 1,375 = 0,58 \text{ kN.}$$

Sofern der Bemessungswiderstand für gleichzeitig wirkende Querbeanspruchung parallel zum Al-Profil (in Richtung x-Achse) nach EC9) und Querbeanspruchung rechtwinklig zur Dachhaut (in z-Achse des Al-Profiles nach EC9) bestimmt werden muss, kann dies mit ausreichender Sicherheit durch eine geradlinige Interaktion zwischen den Bemessungswiderständen für die Querbelastungen in x- und z-Achse des Al-Profiles erfolgen.

5. Zusammenfassung

Zum Nachweis der Tauglichkeit wurden an der im Abschnitt 3 dieses Berichtes aufgeführten Klemmverbindung („SM-Klemmfaust“) Versuche zum Zusammenwirken zwischen Montageanziehmoment M_A und Vorspannkraft F_V sowie Querlastversuche durchgeführt.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchungen wurde durch die MPA Stuttgart festgestellt, dass von den untersuchten Klemmverbindungen bei Beanspruchung rechtwinklig zur Dachhaut (in z-Achse des Al-Profiles nach EC9) der ermittelte Bemessungswiderstand R_d den in /2/ genannten Auszugswert von 0,56 kN mit den empfohlenen Sicherheiten erreicht, sofern die nachfolgend genannten Angaben zutreffen und die gestellten Bedingungen erfüllt werden:

- Durch die Anwender der von der Firma SM-Befestigungssysteme GmbH, 71634 Ludwigsburg hergestellten Klemmverbindungen ist durch eine statische Berechnung nachzuweisen, dass aus den ermittelten charakteristischen Widerstandswerten mit den empfohlenen Sicherheiten berechneten Bemessungswiderstände der Klemmverbindung Aluminiumprofil - Stehfalzdach größer sind als die Bemessungswerte der Einwirkungen.
- Die Klemmverbindungen sind mit dem Anziehmoment $M_A = 75$ Nm vorzuspannen. Nach Abschnitt 8.5 der DIN V 4113-3:2003-11 sind die Klemmverbindungen frühestens nach 72 Stunden mit dem Anziehmoment $M_A = 75$ Nm nachzuziehen.
- Eine zusätzliche Schmierung der Schrauben, Unterlegscheiben und Muttern darf nicht vorgenommen werden. Das Vorspannen hat über die Mutter zu erfolgen. Außerdem sind für das Vorspannen durch den Anwender kalibrierte Anziehgeräte einzusetzen.

Der Bearbeiter


Dipl.-Ing. (FH) B. Hoffmann



Der Abteilungsleiter


Dr.-Ing. D. Lotze