

Prof. Dr.-Ing. K. Berner

Elisabethenstrasse 62
64283 DARMSTADT
Telefon: +49 (0) 61 51 17 31-0
Telefax: +49 (0) 61 51 17 31-27
E-Mail: berner-und-gruber@t-online.de

Schletter Solar-Montagesysteme
Herrn Urban
Heimgartenstrasse 41
83527 Haag

02.09.2005 be-schä

Gutachten Nr. Z-515 für orientierende Vorversuche zu dem Schletterbefestigungssystem für Solarmodule auf Sandwichdachelementen der Firma Fischer Profil GmbH

Sehr geehrter Herr Urban,

beigefügt sende ich Ihnen oben genanntes Gutachten und den zugehörigen Prüfbericht zur weiteren Verwendung.

Wie in meinem Schreiben vom 26. August 2005 bereits erläutert, habe ich die durchgeführten Versuche ausgewertet und Vorschläge zur Bemessung der Solar-Befestigungssysteme (siehe Gutachten, Seite 23) und der Sandwichelemente mit Lasten aus den Solar-Befestigungssystemen (siehe Gutachten, Seite 16) ausgearbeitet.

Bei Rückfragen stehe ich jederzeit gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen



Prof. Dr.-Ing. K. Berner

Anlagen

Gutachten Nr. Z-515
Prüfbericht Nr. 400221-31

GUTACHTEN

Nr. Z-515

Orientierende Vorversuche zu dem Schletterbefestigungssystem für Solarmodule auf Sandwich-
dachelementen der Firma Fischer Profil GmbH

Auftraggeber: Schletter Solar-Montagesysteme
Heimgartenstrasse 41
83527 Haag

und

Fischer Profil GmbH
Waldstrasse 67
57250 Netphen

Anlage 1: Prüfbericht Nr. 400221-31 vom 24.08.2005

Voruntersuchungen zur Bestimmung der Tragfähigkeit von
Schletter Befestigungssystemen an FischerTHERM-
Dachsandwichelementen mit Stahldeckschichten und einem
Kern aus Polyurethan

von dem Institut für Sandwichtechnik, Fachhochschule Mainz

INHALTSVERZEICHNIS

1	AUFGABENSTELLUNG	3
2	BAUTEILTYPEN UND ÜBERBLICK ÜBER DAS VERSUCHSPROGRAMM	4
3	WERKSTOFFUNTERSUCHUNGEN	7
3.1	PU-Kernschicht.....	7
3.1.1	Rohdichte-Mittelwerte	7
3.1.2	Schubmodul und Schubfestigkeit	7
3.1.3	Elastizitätsmoduli (E_D , E_Z) und Festigkeiten (β_D , β_Z)	9
3.2	Stahl-Deckschichten	11
4	BAUTEILVERSUCHE	11
4.1	Versuchsdurchführung.....	11
4.2	Auswertung der Versuchsergebnisse	14
5	BEFESTIGUNG DER SOLARMODULE	17
5.1	Wirkungsweise der Befestigung	17
5.2	Tragverhalten und Versagensursache	17
5.3	Versuchsdurchführung.....	17
5.4	Versuchsauswertung	21

1 AUFGABENSTELLUNG

Die Firmen Fischer Profil GmbH und Schletter Solar-Montagesysteme beauftragten mich mit einer gutachtlichen Stellungnahme zu den Befestigungen der Solarelementen mit den entsprechenden Bemessungswerten und zu dem prinzipiellen Tragverhalten der Sandwichelemente bei punktförmigen Belastungen aus den Solarsystemen.

Für die Sandwichdachbauteile der Firma Fischer Profil GmbH mit der Bezeichnung „Isotherm“ besteht eine gültige bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-10.4-179 vom 21. August 2001 mit Ergänzungsbescheid vom 7. Februar 2002 (Geltungsdauer bis 31. Oktober 2005). In dieser Zulassung wird vorausgesetzt, dass die Belastungen gleichmäßig über die Elementbreite verteilt auftreten, was durch die punktförmige Befestigung der Solarelemente nicht gewährleistet ist.

Nachfolgend sollen auf der Grundlage der Sandwichrichtlinie (Prüfprogramm für Sandwichkonstruktionen mit einem Stützkern aus PUR-Hartschaum, Fassung 3.93) die aufnehmbaren Lasten quer zur Dachfläche (Auszugswerte) und senkrecht zur Dachfläche (Querkraft) der Befestigung der Solarmodule auf den Sandwichdachelementen und das Lastverteilungsvermögen der Sandwichdachelemente Typ DL im Rahmen von orientierenden Vorversuchen ermittelt werden.

Zur Untersuchung der Tragfähigkeit der Sandwichelemente unter punktförmiger Belastung und der Befestigung für abhebende Kräfte (infolge Windsog) und Querkräfte (infolge Dachschub), sowie der Kennwerte der Sandwichelemente wurden Versuche in dem Institut für Sandwichtechnik, Fachhochschule Mainz durchgeführt. Die genaue Beschreibung der Versuchskörper und Durchführung der Versuche ist im zugehörigen Versuchsbericht (siehe Anlage 1) erfasst.

2 BAUTEILTYPEN UND ÜBERBLICK ÜBER DAS VERSUCHSPROGRAMM

Aus dem Lieferprogramm der herstellenden Firma wurde die Befestigung für folgenden Bauteiltyp untersucht:

Sandwichdachelement: **Typ DL70:** äußere Deckschicht: profiliert
innere Deckschicht: liniert

Bauteildicke: $D = 70 \text{ mm}$

durchgehende Kerndicke: $d = 30 \text{ mm}$

Stahlblechdicken: profilierte Deckschicht $t_N = 0,55 \text{ mm}$,
linierte Deckschicht $t_N = 0,40 \text{ mm}$

Befestigungssystem der Solarelemente: **Typ Fix2000**

Genauere Angaben über die Querschnittsgeometrien siehe Bild 1 und 2.

Ein Überblick über die durchgeführten Versuche ist in der Tabelle 1 zusammengestellt. Zur Bestimmung des Tragverhaltens der Sandwichdachelemente unter Einzellasten wurden drei Bauteilversuche mit Einzellasten auf der Randrippe und zum Vergleich drei Bauteilversuche mit einer über die Bauteilbreite gleichmäßig verteilten Linienlast durchgeführt. Dabei wurde der Einfluss der unterschiedlichen Laststellung über die Stützweite untersucht. Zur Normierung der aufnehmbaren Lasten der Befestigung wurden aus den Bauteilen Kernschicht- und Blechproben entnommen und Werkstoffuntersuchungen durchgeführt. Anzahl und Art der Versuche sind ebenfalls in der Tabelle 1 dargestellt.

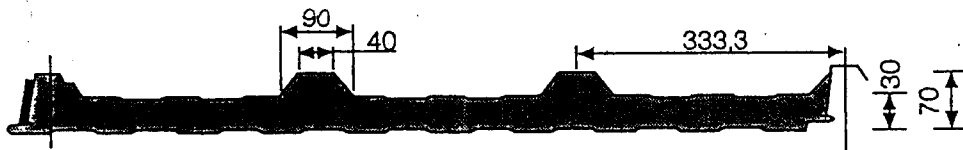


Bild 1: Sandwichdachelement Typ „DL70“

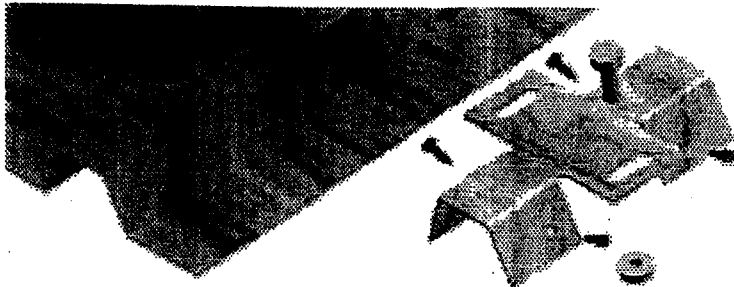


Bild 2: Befestigung Typ „Fix2000“

Tabelle 1: Programm für orientierende Vorversuche; Firma Fischer Profil GmbH und Schletter Solar-Montagesysteme
Typ DL70 und Fix2000

1. Bauteilversuche (statische Belastung)				
Lage der Lasteinleitung	Punktlast	Linienlast über gesamte Paneelbreite	Anzahl der Versuche	
In Feldmitte	1	1	2	
Bei $x = 0,15 \cdot L$ vom Auflager	1	1	2	
Bei $x = 0,30 \cdot L$ vom Auflager	1	1	2	
2. Versuche am kurzen Balken ($l = 0,75 \text{ m}$) (Bestimmung des Schubmoduls und der Schubfestigkeit) $D = 70 \text{ mm}$ ($d = 30 \text{ mm}$)			Anzahl: 5	
3. Werkstoffuntersuchungen				
3.1. Kernschicht				
3.1.1 Dichte $D = 70 \text{ mm}$ ($d = 30 \text{ mm}$)				Anzahl: 3
3.1.2 Druck- und Zugproben ($a / b = 100 / 100 \text{ mm}$)				
	E-Modul-Druck und β_D (10%-Stauchung) bei: 20 °C	E-Modul-Zug und β_Z bei: 20 °C	Anzahl der Versuche	
$D = 70 \text{ mm}$ ($d = 30 \text{ mm}$)	10	10	20	
3.2. Deckschichten Bestimmung der mechanischen Werte (Deckschichtdicke, Streckgrenze, Zugfestigkeit)			Anzahl: 6	
4. Befestigungen				
4.1. zentrische Beanspruchung				
Statische Auszugsversuche			Anzahl: 10	
Dynamische Auszugsversuche			Anzahl: 5	
Statische Querkraftversuche			Anzahl: 10	
4.2. exzentrische Beanspruchung				
Statische Auszugsversuche			Anzahl: 10	
Dynamische Auszugsversuche			Anzahl: 5	
Statische Querkraftversuche			Anzahl: 10	
Gesamt-Anzahl:			90	

3 WERKSTOFFUNTERSUCHUNGEN

3.1 PU-Kernschicht

3.1.1 Rohdichte-Mittelwerte

Aus den Dachbauteilen, die durch Bauteil-Traglastversuche geprüft wurden, sind Kernschichtproben entnommen und durch Gewichts- und Volumenbestimmung die Rohdichten der PU-Kernschicht ermittelt worden (siehe Kap. 5.6 und Anlage AC in dem Prüfbericht).

Es wurde als Mittelwert $\rho = 38,60 \text{ kg/m}^3$ festgestellt.

3.1.2 Schubmodul und Schubfestigkeit

Zur Bestimmung des Schubmoduls und der Schubfestigkeiten wurden an "kurzen Balken", die aus den Bauteilen entnommen wurden, 4-Punkt-Biegeversuche durchgeführt (siehe Kap. 5.6 in dem Prüfbericht). In der Prüfmaschine wurden die Versuchskörper als Biegebalken frei drehbar aufgelegt und über Lastverteiler belastet. Breite und Höhe der Probekörper ergaben sich durch die Querschnittsgeometrie der Bauteile.

Die Versuchsergebnisse sind in dem Prüfbericht, Anlage AA und AB im Einzelnen dargestellt.

Die Berechnung des Schubmoduls erfolgte nach folgendem Verfahren:

Die Gesamtdurchbiegung ist die Summe der Biege- und Schubverformung

$$f = f_B + f_S$$

Die Durchbiegung infolge Biegebeanspruchung kann nach bekannten Formeln errechnet werden, so dass sich der Schubmodul dann nach der Gleichung

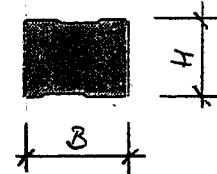
$$G = \frac{F \cdot \ell}{6} \cdot \frac{1}{(f - f_B) \cdot b \cdot d}$$

errechnen lässt.

Bauteilbezeichnung : DL70

Ausgabe der allgemeinen Querschnittswerte :

Kernblechdicke oben t_{ko} in mm = .52
 Kernblechdicke unten t_{ku} in mm = .33
 Randabstand oben e_o in mm = .43
 Randabstand unten e_u in mm = .23
 E-Modul oben in kN/cm^2 = 21000
 E-Modul unten in kN/cm^2 = 21000



Versuchsanordnung = Zwei Einzellasten bei $L/3$

Ausgabe der variablen Querschnittswerte :

pr-nr	B mm	H mm	L mm	G kN	Fu kN	F kN	f mm
1	101.13	29.78	750	0.000	0.831	0.300	4.357
2	101.16	30.81	750	0.000	0.963	0.300	4.638
3	101.20	30.65	750	0.000	0.941	0.300	4.981
4	101.11	29.88	750	0.000	0.724	0.300	4.829
5	101.15	30.42	750	0.000	0.784	0.300	5.969

Ausgabe der Versuchsauswertung

pr-nr	H mm	F kN	f mm	fb mm	I cm ⁴	G N/mm ²	T N/mm ²
1	29.78	0.300	4.357	0.636	1.68	3.473	0.143
2	30.81	0.300	4.638	0.593	1.80	3.083	0.160
3	30.65	0.300	4.981	0.599	1.79	2.860	0.157
4	29.88	0.300	4.829	0.632	1.69	3.069	0.124
5	30.42	0.300	5.969	0.609	1.76	2.358	0.132

Statistische Auswertung :

Schubmodul G in N/mm^2

Schubspannung τ in N/m

Mittelwert = 2.968588 0.143402
 Standardabweichung = 0.142585 0.109136
 5%-Fraktilwert = 2.072976 0.109083

Tabelle 2: Schubmodul G, Schubfestigkeit β_τ ,
Bauteiltyp DL70, D = 70 mm (d = 30 mm)

Versuch-Nr.	G (N/mm ²)	β_τ (N/mm ²)
1	3,47	0,143
2	3,08	0,160
3	2,86	0,157
4	3,07	0,124
5	2,36	0,132

$$\bar{G} = 2,97 \text{ N/mm}^2$$

$$G^{5\%} = 2,07 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\beta}_\tau = 0,143 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_\tau^{5\%} = 0,109 \text{ N/mm}^2$$

3.1.3 Elastizitätsmoduli (E_D , E_Z) und Festigkeiten (β_D , β_Z)

Die Elastizitätsmoduli und Festigkeiten bei Druck und Zug wurden an Proben mit Kantenabmessungen von 100*100*H mm bestimmt (siehe Kap. 5.4 und 5.5 in dem Prüfbericht). Die Ergebnisse sind in Anlage V bis Z in dem Prüfbericht im Einzelnen beschrieben und den nachfolgenden Tabellen 3 und 4 zusammengefasst.

Da bei den Versuchen die Deckbleche nicht abgetrennt wurden, sind die Zugfestigkeiten gleichzeitig auch die Stirnabzugsfestigkeiten.

Tabelle 3: E_Z -Modul, Zugfestigkeit β_Z , Haftfestigkeit;
Bauteiltyp DL70, D = 70 mm (d = 30 mm)

Versuch-Nr.	E_Z (N/mm ²)	β_Z (N/mm ²)
1	2,98	0,066
2	4,00	0,111
3	3,28	0,149
4	4,22	0,134
5	4,21	0,126
6	3,09	0,104
7	3,56	0,132
8	3,58	0,125
9	4,25	0,138
10	3,87	0,126

$$\bar{E}_Z = 3,70 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\beta}_Z = 0,121 \text{ N/mm}^2$$

$$E_Z^{5\%} = 2,78 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_Z^{5\%} = 0,073 \text{ N/mm}^2$$

Tabelle 4: E_D -Modul, Druckfestigkeit β_D ;
Bauteiltyp DL70, D = 70 mm (d = 30 mm)

Versuch-Nr.	E_D (N/mm ²)	β_D (N/mm ²)
1	2,41	0,136
2	2,58	0,139
3	2,91	0,144
4	2,60	0,145
5	2,12	0,131
6	2,15	0,136
7	3,29	0,150
8	2,63	0,138
9	2,44	0,135
10	2,12	0,133

$$\bar{E}_D = 2,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\beta}_D = 0,139 \text{ N/mm}^2$$

$$E_D^{5\%} = 1,85 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_D^{5\%} = 0,127 \text{ N/mm}^2$$

3.2 Stahl-Deckschichten

Aus den oberen und unteren Deckschichten der experimentell untersuchten Bauteil-Einfeldplatten wurden insgesamt 6 Zugproben gemäß DIN 50114 entnommen, an denen die Materialkennwerte bestimmt wurden.

Die Ergebnisse sind jeweils in den Tabellen von Anlage AD und AF in dem Prüfbericht zusammengestellt.

4 BAUTEILVERSUCHE

4.1 Versuchsdurchführung

Über Werkstoff- und Bauteilversuche an Sandwichplatten mit PU-Kernschicht liegen in der Literatur zahlreiche Ergebnisse vor (z.B. in /1/). Die Versuche im Rahmen dieses Gutachten lehnen sich an diese an.

Im Rahmen der Zulassungsversuche für die allgemein bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-10.4-179 der Sandwichelemente wurde in üblicher Weise von einer über die Elementbreite der Sandwichelemente gleichmäßig verteilten Lasteinleitung ausgegangen. Diese Lasteinleitung ist bei dem vorgesehenen Schletterbefestigungssystem nicht gegeben, d. h. im ungünstigsten Fall wird die Belastung aus den Solarmodulen punktuell in die äußerste Hochsicke der äußeren Deckschicht der Sandwichelemente eingeleitet. Die zur Lastabtragung ansetzbaren Lastverteilungsbreiten der Sandwichelemente sind in der allgemein bauaufsichtlichen Zulassung Nr. Z-10.4-179 nicht geregelt.

In der Trapezblechnorm DIN 18807, Teil 3, Abschnitt 3.1.7.3 sind ansetzbare Lastverteilungsbreiten mit querverteilenden Zwischenschichten geregelt. Allerdings gilt dies ohne weitere Nachweise nur für ausbetonierte Trapezprofile. Bei anderen querverteilenden Zwischenschichten, wie die bei Sandwichelementen vorhandene PU-Kernschicht, ist deren Wirksamkeit nachzuweisen, siehe DIN 18807, Teil 3, Abschnitt 3.1.7.3.2.

Hierzu wurden zur Bestimmung der vorhandenen Lastverteilungsbreiten jeweils drei Bauteilversuche mit unterschiedlichen Laststellungen der Punktlasten und zum Vergleich mit den selben Laststellungen drei Versuche mit einer gleichmäßig über die Bauteilbreite verteilten Lasteinleitung durchgeführt. Um den ungünstigsten Fall zu untersuchen, wurden bei den Versuchen Sand-

wichdachelemente mit der gemäß allgemein bauaufsichtlicher Zulassung Z-10.4-179 geringsten durchgehenden Kernschicht von $d = 30$ mm untersucht.

Versuchsaufbau, Abbildungen der Versagenszustände und die Versuchsergebnisse sind in Anlage S bis U in dem Prüfbericht dargestellt.

Über Lastverteilungsträger wurde die Belastung aufgebracht. Die Stützweiten entsprachen etwa dem vorgesehenen Anwendungsbereich. Bei kontinuierlicher Erhöhung der Belastung wurde die Durchbiegung in Feldmitte bestimmt. Eine Übersicht der Traglasten ist in der Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Einfeldträgerversuche

Bauteiltyp: DL70, D = 70 mm (d = 30 mm), Befestigungssystem: Fix2000

Versuchs-Nr. Lasttyp	Laststellung (Abstand vom Auflager) [m]	Systemlänge [m]	Traglast [kN]	Versagensursache
B_1 - Punktlast	0,32	2,29	2,088	Schubbruch
B_2 - Linienlast	0,32	2,29	7,518	"
B_3 - Punktlast	0,64	2,29	3,204	"
B_4 - Linienlast	0,64	2,29	5,628	Versagen durch Knittern der ge- drückten Deck- schicht
B_5 - Punktlast	1,47	2,94	3,336	"
B_6 - Linienlast	1,47	2,94	3,414	"

4.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

Die Lastverteilungsbreiten werden aufgrund der in den Einfeldträgerversuchen erreichten Traglasten berechnet und nachfolgend zusammenfassend in folgender Tabelle 6 dargestellt:

Tabelle 6: Einfeldträgerversuche; im Versuch erreichte Lastverteilungsbreiten
Bauteiltyp: DL70, D = 70 mm (d = 30 mm), Befestigungssystem: Fix2000

Versuchs-Nr.	$F_{\max, \text{Punkt}}$ [kN]	$F_{\max, \text{Linie}}$ [kN]	$b_{w, \text{Versuch}}$ [m]
B_1 / B_2	2,088	7,518	0,278
B_3 / B_4	3,204	5,628	0,569
B_5 / B_6	3,336	3,414	0,977

$$b_{w, \text{Versuch}} = \frac{F_{\max, \text{Punkt}}}{F_{\max, \text{Linie}}} \cdot B$$

$b_{w, \text{Versuch}} \equiv$ erreichte Lastverteilungsbreite

$F_{w, \text{Punkt}} \equiv$ erreichte Traglast bei punktförmiger Lasteinleitung

$F_{w, \text{Linie}} \equiv$ erreichte Traglast bei linienförmiger Lasteinleitung

$B \equiv$ Elementbreite der Sandwichelemente ($B = 1,0 \text{ m}$),
siehe Prüfbericht, Seite 3

Die erreichten Lastverteilungsbreiten werden den gemäß DIN 18807, Teil 3, Tabelle 2 rechnerischen Lastverteilungsbreiten vergleichend gegenübergestellt, siehe folgende Tabelle 7.

Tabelle 7: Einfeldträgerversuche; rechnerische Lastverteilungsbreiten gemäß DIN 18807, Teil 3
Bauteiltyp: DL70, D = 70 mm (d = 30 mm), Befestigungssystem: Fix2000

Versuchs-Nr.	Maßgebende Schnittgrößen	L [m]	x [m]	b _w [m]	b _{w,Versuch} [m]
B_1 / B_2	Q	2,29	0,32	0,20	0,278
B_3 / B_4	Q	2,29	0,64	0,36	0,569
B_5 / B_6	M	2,94	1,47	1,00	0,977

Gemäß DIN 18807, Teil 3, Tabelle 2 wurde angesetzt für die:

maßgebende Schnittgröße Q (Querkraft am Auflager):

$$b_w = b_e + 0,5 \cdot x$$

maßgebende Schnittgröße M (Biegemoment in Feldmitte):

$$b_w = b_e + 2 \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{L}\right) \leq B$$

b_w ≡ rechnerische Lastverteilungsbreite

b_e ≡ Lasteintragsbreite b_e = 0,04 m
(Auf der sicheren Seite wird nur die Obergurtbreite der äußeren profilierten Deckschichten der Sandwichelemente angesetzt. Auf den Ansatz der Lastverteilung innerhalb der Kernschicht im Lasteinleitungsbereich wird verzichtet.)

x ≡ Abstand der Lasteinleitung vom Auflager (Laststellung)

L ≡ Systemlänge (Stützweite)

B ≡ Elementbreite der Sandwichelemente (B = 1,0 m)

b_{w,Versuch} ≡ erreichte Lastverteilungsbreite

Es ist zu erkennen, dass die im Versuch erreichten Lastverteilungsbreiten für die Nachweise der Querkraftbeanspruchung weit über den rechnerisch anzusetzenden Werten gemäß Trapezblechnorm DIN 18807, Teil 3 liegen. Bei den Versuchen für die Momentenbeanspruchung ist als die rechnerische Verteilungsbreite die gesamte Bauteilbreite anzusetzen. Dies konnte durch die Vorversuche bestätigt werden.

Aufgrund der Ergebnisse der durchgeführten Vorversuche erscheint es sinnvoll, bei einer statischen Berechnung der Sandwichelemente DL mit Bauteildicken ≥ 70 mm unter Belastungen aus den Solarbefestigungen Fix2000 die Lastverteilungsbreiten gemäß DIN 18807, Teil 3, Tabelle 2 anzusetzen, siehe auch /14/ bzw. Anlage 2. Weiterhin haben die Versuche gezeigt, dass bei einer Befestigung der Solarmodule in der Nähe des Auflagerbereiches bei den untersuchten Sandwichbauteilen mit relativ kleiner durchgehender Kerndicke ($d = 30$ mm) die Querkraft hauptsächlich von der äußeren profilierten Deckschicht aufgenommen wird und die in den allgemein bauaufsichtlichen Zulassung der Sandwichelemente vorgesehene Sandwichtheorie ohne Weiteres nicht anzusetzen ist. In Anlehnung an DIN 18807, Teil 1, Abschnitt 4.2.6.1 empfehle ich deshalb, die aufnehmbare Auflagerlast der Sandwichelemente bei auflagernahen Anordnungen der Solarmodule ($x \leq 0,3 \cdot L$) auf $F_{rd} = 3,6$ kN/m (entsprechend der Tragfähigkeit der Trapezbleche) zu begrenzen. Zur Abschätzung der Tragfähigkeit von dickeren Elementen sind weitere Versuche durchzuführen, um eventuell eine nachweisbare mittragende Wirkung des Kerns zur Querkraftübertragung zu ermitteln. Das prinzipielle Nachweiskonzept und die ansetzbaren Bemessungswerte für die Sandwichelemente selbst können der allgemein bauaufsichtlichen Zulassung Z-10.4-179 entnommen werden.

Da es sich bei den durchgeführten Versuchen um orientierende Vorversuche handelt, sind zur Erlangung einer allgemein bauaufsichtlichen Zulassung mit Bemessungswerten für Linien- und Einzellasten zusätzliche Versuche durchzuführen, die gegebenenfalls mit dem Deutschen Institut für Bautechnik, Berlin im Einzelnen abzusprechen sind.

5 BEFESTIGUNG DER SOLARMODULE

5.1 Wirkungsweise der Befestigung

Bei dem Befestigungssystem Fix2000 werden passgenau auf die Hochsicken der Sandwichdachelemente Schellen aufgesetzt und mit jeweils vier Bohrschrauben befestigt, siehe Prüfbericht, Seite 4. Auf diese Schellen wird dann die Solarmodulkonstruktion mit jeweils zwei Schrauben M10 montiert und angeschlossen.

5.2 Tragverhalten und Versagensursache

Es konnten aufgrund der Beobachtungen bei den Versuchen unter abhebenden Belastungen und Dachschublasten folgende **Versagensursachen** festgestellt werden (siehe auch Prüfbericht, Anlage G, J, M und P):

- Langloch im äußeren Deckblech der Sandwichdachelemente
- Ablösen des äußeren Deckbleches der Sandwichdachelemente von der Kernschicht.

5.3 Versuchsdurchführung

Zur Bestimmung der zulässigen Kräfte der Schellenbefestigung Fix2000 wurden mit Dachelementen der Dicke $D = 70$ mm jeweils 10 statische und 5 dynamische Zugversuche mit exzentrische und zentrische Lasteinleitung durchgeführt. Weiterhin wurden jeweils 10 statische Querkraftversuche mit exzentrische und zentrische Lasteinleitung durchgeführt.

Zur besseren Übersicht sind die Versuchsergebnisse im Einzelnen in den nachfolgenden Tabellen nochmals erfasst und die Mittelwerte und die 5%-Fraktilwerte angegeben.

Tabelle 8: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse für **zentrische Lasteinleitung** zur Befestigung der Solarmodule bei **abhebenden Lasten**, Schellentyp **Fix2000**

Statische Beanspruchung

Versuchs-Nr.	max. F (kN)
1	5,50
2	4,86
3	5,02
4	5,13
5	5,66
6	5,65
7	5,51
8	5,90
9	5,13
10	5,34

$$\max \bar{F} = 5,37 \text{ kN}$$

$$\max F^{5\%} = 4,71 \text{ kN}$$

Tabelle 9: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse für **zentrische Lasteinleitung** zur Befestigung der Solarmodule bei **abhebenden Lasten**, Schellentyp **Fix2000**

Dynamische Beanspruchung

Versuchs-Nr.	max. F (kN)
1	6,35
2	4,68
3	5,50
4	5,09
5	5,39

$$\max \bar{F} = 5,40 \text{ kN}$$

Tabelle 10: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse für **exzentrische Lasteinleitung** zur Befestigung der Solarmodule bei **abhebenden Lasten**, Schellentyp **Fix2000****Statische Beanspruchung**

Versuchs-Nr.	max. F (kN)
1	3,59
2	4,00
3	3,36
4	3,56
5	3,55
6	3,75
7	3,29
8	3,45
9	3,65
10	3,41

$$\max \bar{F} = 3,56 \text{ kN}$$

$$\max F^{5\%} = 3,15 \text{ kN}$$

Tabelle 11: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse für **exzentrische Lasteinleitung** zur Befestigung der Solarmodule bei **abhebenden Lasten**, Schellentyp **Fix2000****Dynamische Beanspruchung**

Versuchs-Nr.	max. F (kN)
1	3,68
2	3,95
3	3,68
4	3,53
5	3,95

$$\max \bar{F} = 3,76 \text{ kN}$$

Tabelle 12: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse für **zentrische Lasteinleitung** zur Befestigung der Solarmodule bei **Dachschublasten**, Schellentyp **Fix2000****Statische Beanspruchung**

Versuchs-Nr.	max. F (kN)
1	8,70
2	7,98
3	8,81
4	8,45
5	8,54
6	9,00
7	7,87
8	7,82
9	8,70
10	8,16

$$\max \bar{F} = 8,40 \text{ kN}$$

$$\max F^{5\%} = 7,55 \text{ kN}$$

Tabelle 13: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse für **exzentrische Lasteinleitung** zur Befestigung der Solarmodule bei **Dachschublasten**, Schellentyp **Fix2000****Statische Beanspruchung**

Versuchs-Nr.	max. F (kN)
1	7,25
2	6,92
3	7,28
4	7,05
5	7,54
6	6,56
7	6,81
8	6,51
9	6,90
10	7,06

$$\max \bar{F} = 6,99 \text{ kN}$$

$$\max F^{5\%} = 6,34 \text{ kN}$$

5.4 Versuchsauswertung

Bei der Interpretation der Versuchsergebnisse ist meines Erachtens folgendes zu beachten:

- a) Gemäß Sandwichrichtlinie wurden dynamische Zugversuche mit der Schellenbefestigung Fix2000 durchgeführt. Da die erreichte Traglast nach den 5000 Lastwechselbeanspruchungen immer größer als $1,3 \cdot F_{U,stat}/2$ ist, kann dann gemäß Sandwich-Richtlinie im Prinzip für $F_U = F_{U,stat}$ angesetzt werden oder für $F = F_U/2$ ($\gamma = 2,0$).

- b) Aufgrund der Werkstoffkenngrößen ist in der Regel eine Normierung vorzunehmen. Für das Tragverhalten der Befestigung sind meines Erachtens vor allem die stützende Kernschicht und die Deckbleche maßgebend. Da die festgestellten Schub- und Zugfestigkeiten der Kernschicht im Bereich bzw. teilweise geringfügig unterhalb den geforderten Werten der gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-10.4-179 liegen, kann auf die Normierung hinsichtlich der Kernschicht verzichtet werden. Es wird darauf hingewiesen, dass von dem Hersteller speziell darauf geachtet wurde, dass bei den Versuchskörpern die Kernschichtkennwerte an der unteren Grenze der zulässigen Werte, bzw. unter den Werten gemäß Zulassung liegen, um eine ungünstige Normierung zu vermeiden. Vom Hersteller wird jedoch bestätigt, dass die Zulassungswerte in der Produktion eingehalten werden.

Entsprechend den Angaben zur Normierung der Versuchsergebnisse bei der Festlegung der aufnehmbaren Kräfte zu Trapezblechverbindungen (siehe DIN 18807, Teil 7, Abschnitt 4.10.1.3 und Entwurf zur DIN 18807, Teil 4, Abschnitt 5.7.1.4) wird eine Normierung bezogen auf die Zugfestigkeit der äußeren ebenen Deckschicht und auf die Deckblechdicke vorgeschlagen.

$$f = \frac{\beta_{KN}}{\beta_{KV}} \cdot \frac{t_{KN}}{t_{KV}}^*$$

β_{KN} = nominelle Zugfestigkeit

β_{KV} = gemessene Zugfestigkeit (siehe Prüfbericht)

t_{KN} = nominelle Kernblechdicke $t_K = t_N - 0,04$ mm

t_{KV} = gemessene Kernblechdicke (siehe Prüfbericht)

* Ergeben sich Quotienten $\beta_{KN}/\beta_{KV} > 1$, bzw. $t_{KN}/t_{KV} > 1$, so ist mit β_{KN}/β_{KV} , bzw. $t_{KN}/t_{KV} = 1$ zu rechnen (siehe DIN 18807, Teil 7, Abschnitt 4.10.1.3 und Entwurf zur DIN 18807, Teil 4, Abschnitt 5.7.1.4).

$$f = \frac{420}{487} \cdot \frac{0,51}{0,52} = 0,846$$

Somit ergeben sich folgende Werte pro **Befestigung der Solarmodule**:

Tabelle 14: Traglasten (F_U) und zulässige Werte (zul. F) für Schellenbefestigung Typ Fix2000 auf Sandwichdachbauteilen Typ DL mit Deckschichten ($t_{Na} \geq 0,55$ mm) aus Stahl gemäß Zulassung Z-10.4-179

Voraussetzungen:

Ausbildung und Anordnung der Schrauben gemäß Bild 2

Schrauben: je Schelle 4 Schrauben Typ EJOT-JT3-2H-5,5 E16 (oder gleichwertig) zur Befestigung der Schelle an dem Obergurt der Sandwichelemente
je Schelle 2 Schrauben M10

Lastrichtung	Auflagerart	Normierungsfaktor	Normierte Traglast F_U (kN)	Sicherheitsfaktor	zulässiger Wert zuLF (kN)
Abhebend	zentrisch	0,846	3,98	2,0	1,99
	exzentrisch	"	2,66	2,0	1,33
Dachschub (Querkraft)	zentrisch	"	6,39	2,0	3,20
	exzentrisch	"	5,36	2,0	2,68

Unter Beachtung obengenannter Bemerkungen und zulässigen Auszugskräften bestehen gegen die Schellenbefestigung Typ Fix2000 der Firma Schletter Solar-Montagesysteme auf Sandwichdachelementen Typ DL der Firma Fischer Profil GmbH im Rahmen dieser Vorversuche in statischer Hinsicht keine Bedenken.

Darmstadt, 30. August 2005

LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Stamm, K., Witte, H.:
Sandwichkonstruktionen
Springer-Verlag, 1974
- /2/ Berner, K.:
Stahl/PUR-Sandwichtragwerk unter Temperatur- und Brandbelastung,
TH Darmstadt, 1978
- /3/ Jungbluth, O.:
Optimierte Verbundbauteile, Verbunddach- und Wandbauteile
Stahlbauhandbuch, Band 1, Kapitel 18.4, Seite 933 ff.
Stahlbau-Verlags-GmbH, Köln 1982
- /4/ Schwarze, K.:
Numerische Methoden zur Berechnung von Sandwichelementen,
Stahlbau 12/1984
- /5/ Jungbluth, O., Berner, K.:
Verbund- u. Sandwichtragwerke,
Springer-Verlag, 1986
- /6/ Wölfel, E.:
Nachgiebiger Verbund, Eine Näherungslösung und deren Anwendungsmöglichkeiten
Stahlbau 6/1987
- /7/ Jungbluth, O., Berner, K.:
Feuerwiderstandsfähige Dachverbundplatten,
Werkstoff und Technik 1989
- /8/ Berner, K.:
Erarbeitung vollständiger Bemessungsunterlagen im Rahmen bautechnischer Zulassungen für Sandwichbauteile,
Forschungsvorhaben DIBt, Berlin 1995
- /9/ Berner, K., Gruber, P.:
Handbuch zum Programm „SandStat 3“
Ingenieurbüro Berner und Gruber, Darmstadt, 1998
- /10/ Berner, K.:
Praxisgerechte Nachweise zur Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Sandwichbauteilen
Stahlbau 12/1998
- /11/ ECCS, European Recommendations for Sandwich Panels,
TC 7, 2000
- /12/ Recommendations für Sandwich panels with mineral wool core material,
CIB (Conseil International du Batiment pour l'Etude) W56, 2000
- /13/ Koschade, R., Kapitel 7: Berner, K., u. a.:
Die Sandwichbauweise
Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin
2000
- /14/ Eggert, H.:
Stahlbaunormen-angepaßt, Ernst&Sohn-Verlag 1999

Anlage 1

Prüfbericht-Nr. 400221-31

Voruntersuchungen zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Schletter Befestigungssystemen auf FischerTHERM-Dachsandwichelementen mit Stahldeckschichten und einem Kern aus Polyurethan

des Institutes für Sandwichtechnik, Fachhochschule Mainz

vom 24.08.2005

Anlage 2

Auszug aus /14/ zu DIN 18807, Teil 3, Tabelle 2

Lfd. Nr	1 Statisches System Schnittgrößen	2 Rechnerische Lastverteilungsbreite b_w	3 Gültigkeitsgrenzen
1		$b_w = b_e + 2 \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right)$	$0 < x < l/2$ $b_e < 0,8 \cdot l$
2		$b_w = b_e + 0,5 \cdot x$	
3		$b_w = b_e + 1,33 \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right)$	$0 < x < l$ $b_e < 0,8 \cdot l$
4		$b_w = b_e + 0,45 \cdot x \cdot \left(2 - \frac{x}{l}\right)$	
5		$b_w = b_e + 0,3 \cdot x$	$0,2 \cdot l < x < l$
6		$b_w = b_e + 0,4 \cdot l \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right)$	$0 < x < 0,8 \cdot l$ $b_e \leq 0,4 \cdot l$
7		$b_w = b_e + 0,8 \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right)$	$0 < x < l/2$ $b_e < 0,8 \cdot l$
8		$b_w = b_e + 0,45 \cdot x \cdot \left(2 - \frac{x}{l}\right)$	$0 < x < l/2$ $b_e < 0,4 \cdot l$
9		$b_w = b_e + 0,3 \cdot x$	$0,2 \cdot l < x < l/2$ $b_e < 0,4 \cdot l$
10		$b_w = b_e + 1,33 \cdot x$	$0 < x < l_k$ $b_e \leq 0,8 \cdot l_k$
11		$b_w = b_e + 0,3 \cdot x$	$0,2 \cdot l_k < x < l_k$ $b_e \leq 0,4 \cdot l_k$