

S-WUE/200440

Würzburg, 11.01.2021
Tel. 0931 4196-129
Ha / Un / sd

Versuchsbericht zur Ermittlung der Auszugstragfähigkeit unter zentrischem Zug von Bohrschrauben in Alu-Verbundrahmen und in Kunststoffrahmen mit Stahleinschieblingen

Auftraggeber: OnLevel GmbH
Budberger Str. 5
46446 Emmerich am Rhein

Auftrag vom: 27.11.2020

Anlagen: 1 bis 5 vgl. Seite 2

Im Entwurf gez. Im Entwurf gez.

Artur Unrau Dipl.-Ing. Roger Hagelstein


Dipl.-Ing. Dieter Katz
Ltd. Baudirektor

Der Bericht umfasst 10 Textseiten und 5 Anlagen.

\\Fs-wue\vol2\DATAD\SWUE\PB\2020\200440_OnLevel_Auszugstragfähigkeiten\200440_OnLevel_Auszugtragf_Versuchsbericht.docx /
Seite 1 von 10

Anlagen:

1. Versuchsprotokolle und Fotodokumentation: Serie Aluverbundblendrahmen, Stegdicken $2 \times t = 1,6 \text{ mm}$
2. Versuchsprotokolle und Fotodokumentation: Serie Kunststoffrahmen mit Stahleinschieblingen DX51 D, $t = 1,5 \text{ mm}$
3. Versuchsprotokolle und Fotodokumentation: Serie Kunststoffrahmen mit Stahleinschieblingen DX51 D, $t = 2,0 \text{ mm}$
4. Statistische Auswertung der Versuche
5. Rechnerische Untersuchung der Versuchsergebnisse

Gliederung:

- 1 Vorgang – Beschreibung der Versuche
- 2 Bewertung der Versuchsergebnisse

Unterlagen

- | | | |
|-----|---|---|
| [1] | DIN EN 10346 | Kontinuierlich schmelztauchveredelte Flacherzeugnisse aus Stahl zum Kaltumformen – Technische Lieferbedingungen / Okt. 2015 |
| [2] | ETA-18/0880 | Europäische Technische Bewertung ETA-18/0880 vom 10.08.2020 der ETA-Danmark A/S, Göteborg Plads 1, DK-2150 Nordhavn über Befestigungsschrauben für Metallbauteile und Bleche für die Hilti AG, Feldkircherstr. 100, FL 9494 Schaan. |
| [3] | Statische Auszugstragfähigkeit gewindeformender Schrauben in Metallkonstruktionen – an der Fakultät für Bauingenieur, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH) genehmigte Dissertation von Dipl.-Ing. Roderich Hettmann / 2006. | |

1. Vorgang – Beschreibung der Versuche

Das Prüfamt für Standsicherheit der LGA an der LGA Zweigstelle Würzburg wurde von der On-Level GmbH beauftragt, die Auszugstragfähigkeit von Hilti S-MD 05 PS 5.5 x 53 mm / A2 Bohrschrauben nach [2] in Alu-Verbundblendrahmen experimentell zu ermitteln. Bezeichnung der Alu-Verbundblendrahmen Schüco AWS 75.SI 382290 und Schüco AWS 75.SI 382150.

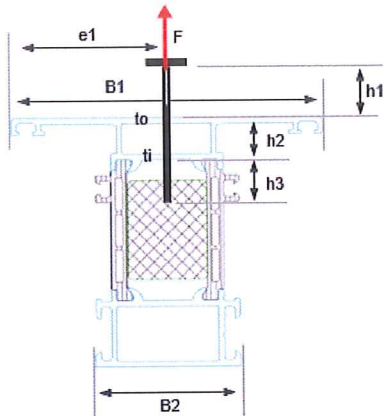


Abbildung 1: Schüco AWS 75.SI / Profilnr. 382150

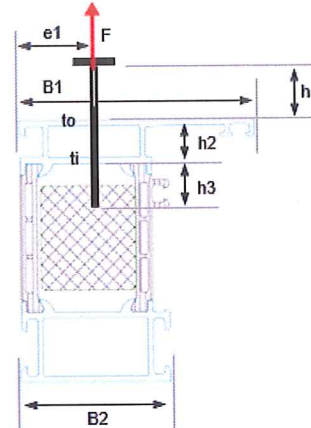


Abbildung 2: Schüco AWS 75.SI / Profilnr. 382290

Außerdem sollen die Auszugstragfähigkeiten von Hilti S-MD 03 PS 5.5 x 50 mm / A2 nach [2] in Kunststoffrahmen mit Stahleinschieblingen aus DX51 D+Z nach DIN EN 10346 experimentell ermittelt werden. Die folgenden Abbildungen 3 – 7 zeigen die untersuchten Anwendungsfälle.

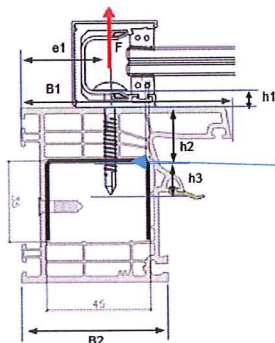


Abbildung 4: 76172 / V313

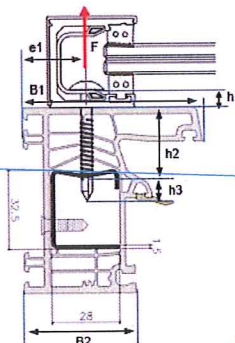


Abbildung 3: 76171 / V306

Einschieblinge liegen an
Kunststoffsteg an

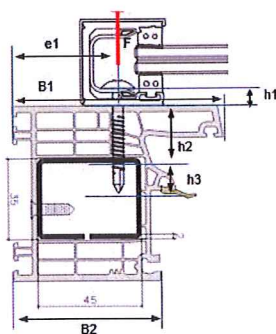


Abbildung 7: 76172 / V314

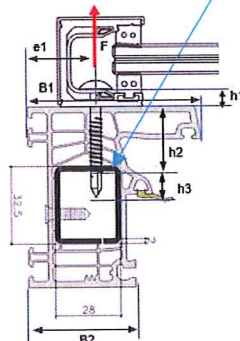


Abbildung 6: 76171 / V310

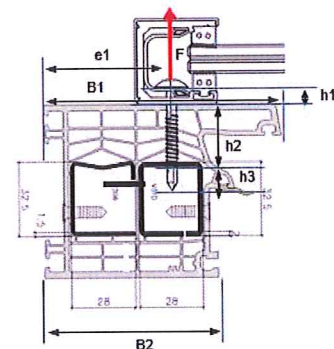


Abbildung 5: 76173 / V310 + V306

1.1. Versuchsanordnung - Zugversuche unter zentrischem Zug



Bild 1.1.: Versuchsanordnung zentrischer Zug / Ansicht

Vorstehendes Bild zeigt die Versuchsanordnung für die Versuche an den Kunststoffrahmenprofilen mit Stahleinschiebling mit $l = 300 \text{ mm}$ und Bohrschrauben Hilti S-MD 03 PS 5.5 x 50 mm / A2 mm unter zentrischem Zug. Für die Versuche mit den Alu-Verbundrahmen und Bohrschrauben Hilti S-MD 05 PS 5.5 x 52 mm / A2 wurde die gleiche Versuchsanordnung verwendet.



Bild 1.2. Versuchsanordnung zentrischer Zug Lage des Probekörpers

Die Versuche fanden in der Prüfhalle des Prüfamtes für Standsicherheit an der LGA-Zweigstelle Würzburg vom 10.12.2020 bis zum 11.12.2020 statt. Die Versuche wurden von Mitarbeitern des Prüfamtes durchgeführt.

Die Probekörper waren wie in Abbildung 1 bis Abbildung 7 dargestellt, von der Fa. OnLevel GmbH angeliefert worden, die Bohrschrauben wurden von einem Mitarbeiter der LGA angeordnet. Die 300 mm langen Rahmenstücke wurden auf zwei konzentrischen Stahlringen, die an Stahlplatten angebracht sind, gelagert. Die Stahlplatten werden mit handfest angezogenen Schrauben M12 gegeneinander verspannt. Durch die konzentrischen Stahlringe an der Ober- und Unterseite und die gegenseitige Verspannung der Stahlplatten entsteht eine Einspannung für das Rahmenprofil.

Die Schrauben Hilti S-MD 03/05 PS 5.5 x 50/52 waren mittig im Probekörper angebracht und wurden in die Auszugsvorrichtung „eingehängt“ (vgl. Fotodokumentation). Durch diese Vorgehensweise wird eine zentrische Lasteinleitung in den Probekörper gewährleistet.

Die Versuche wurden kraftgesteuert mit $dF/dt = 0,010 \text{ kN/sec}$ bis $0,030 \text{ kN/sec}$, je nach Material und Blechdicke des Einschieblings, durchgeführt. Auf die Aufzeichnung der Verformungen mittels Wegaufnehmern wurde für die Versuchsserien zentrischer Zug verzichtet.

Die in den Anlagen enthaltenen Versuchsprotokolle beinhalten alle wesentlichen Angaben zu den Probekörpern. Der **Mindest-Überstand (Einschraubtiefe)** der Schraube in den Einschiebling von $h_3 \geq 14 \text{ mm}$ wurde bei V31 mit 1 mm unterschritten (Abbildung 3).

Der Mindest-Überstand der Schraube (Einschraubtiefe) in den Einschiebling von $h_3 \geq 14 \text{ mm}$ ist einzuhalten.

1.2. Kunststoffrahmen mit innenliegender Stahlarmierung

Voraussetzung für die Anwendung der im Folgenden ermittelten Tragfähigkeiten ist, dass die Einschieblinge in Schraubenrichtung an einem Kunststoffsteg im Rahmeninneren anliegen (s. Abbildung 3 - 7).

Konservativ und aufgrund des Tragverhaltens von auf Zug beanspruchter Bohrschrauben wurde auf die Untersuchung von geschlossenen Vierkantquerschnitt-Einschieblingen verzichtet. Werden in einem Fensterprofil offene Vierkantquerschnitt-Einschieblinge verwendet, muss der durchgeschraubte Profilschenkel durchgehend (ungestört) sein!

1.3. Alu-Verbundprofile der Fa. Schüco

Die Geometrien und Werkstoffe der Rahmenprofile sind durch die Artikelnummern der Profile - AWS 75.SI 382290 und AWS 75.SI 382150 festgelegt → EN AW 6060 / T66.

Die Mindestdicke der beiden Profilstege, die durchgeschraubt werden, muss jeweils $t \geq 1,6 \text{ mm}$ betragen.

2. Bewertung der Versuchsergebnisse

Die Protokolle der Versuche sind in den Anlagen enthalten.

Exemplarisch wird das Protokoll V02 mit $t_{\text{Einsiebl.}} = 1,5 \text{ mm}$ wiedergegeben:

LGA - Zweigstelle Würzburg
Abteilung Statik
Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001 / 14001

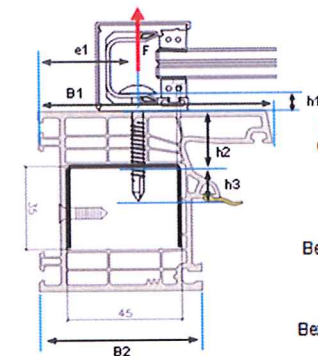
S-WUE/200440 Versuchsprotokoll

Ermittlung der Auszugstragfähigkeit von Bohrschrauben in Kunststoffrahmen
mit Stahleinschieblingen aus DX51 D+Z nach DIN EN 10346 (Mat.Nr. 1.0917)

Fa. OnLevel GmbH

Versuch Nr. V22

Datum: 11.12.2020



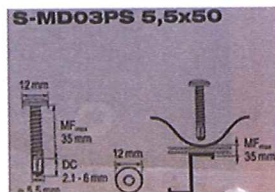
Profilabmessungen

Gurtbreite oben B1 [mm]	90
Gurtbreite unten B2 [mm]	64
Höhe H [mm]	77

Bezeichnung Profil: Blendrahmen 76172

Bezeichnung Einschiebling: V313
t [mm] 1.5

Bezeichnung Bohrschraube: Hilti S-MD 03 PS 5.5 x 50 mm / A2
L [mm] 50
ETA-18/0880 - 20200810



Messung:	e1 [mm]	37
	h1 [mm]	6
	h2 [mm]	24.0
	h3 [mm]	20.0 $\geq 14 \text{ mm}$

F_{Trag} [kN] 2.99

dF/dt [kN/sec] 0.015 ϕ Ring1 [mm] 275 ϕ Ring2 [mm] 258

Bemerkungen:

Schraubengewinde abgesichert im Bereich des Muttergewindes
Muttergewinde abgesichert / Einschiebling plast. verformt

Tabellarische Zusammenfassung:

Alu-Verbundrahmen AWS 75.SI / 382290

Hiliti S-MD 05 PS 5.5 x 52 mm A2

Versuch [Nr]	e1 [mm]	h3 [mm]	F _{Trag} [kN]	Bemerkungen [-]
V01	46	31.5	2.77	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V02	47	31.5	2.88	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V03	47	32.5	2.28	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V04	47	32.5	2.57	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V05	48	32.5	2.21	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V06	48	32.5	2.62	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V07	47	32.5	2.82	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V08	47	30.5	3.14	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V09	47	29.5	3.04	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V10	47	31.5	2.84	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden

Alu-Verbundrahmen AWS 75.SI / 382150

Hiliti S-MD 05 PS 5.5 x 52 mm A2

Versuch [Nr]	e1 [mm]	h3 [mm]	F _{Trag} [kN]	Bemerkungen [-]
V11	25	31.5	2.75	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V12	25	30.5	2.28	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V13	22	30.5	2.89	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V14	24	30.5	2.96	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V15	22	31.5	2.75	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V16	23	31.5	3.12	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V17	22	32.5	2.94	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V18	22	31.5	3.05	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V19	22	31.5	2.95	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden
V20	22	31.5	3.02	Muttergewinde versagt / Schraube o. erkennbare Schäden

Die Versagensart bei den Versuchen mit Alu-Verbundprofilen war einheitlich ein Versagen des Muttergewindes im Aluminiumprofil. Die Schrauben zeigten, wenn überhaupt, nur geringfügige Spuren von Abscherungen bzw. Schäden.

Kunststoffrahmen mit Stahleinschiebling / 76172 / V31; Hiliti S-MD 03 PS 5.5 x 50 mm A2

Versuch [Nr]	e1 [mm]	h3 [mm]	F _{Trag} [kN]	Bemerkungen [-]
V21	37	18	2.64	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V22	37	20	2.99	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V23	37	19	3.59	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V24	37	20	4.24	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V25	36	19	3.11	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V26	37	19	2.91	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V27	38	19	3.20	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V28	37	18	3.08	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V29	37	19	3.35	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V30	36	18	3.45	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert

Kunststoffrahmen mit Stahleinschiebling / 76171 / V31(Hiliti S-MD 03 PS 5.5 x 50 mm A2

Versuch [Nr]	e1 [mm]	h3 [mm]	F _{Trag} [kN]	Bemerkungen [-]
V31	25	13	3.38	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V32	25	14	3.18	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V33	25	14	3.40	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V34	26	15	3.43	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V35	26	14	3.64	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V36	25	14	3.03	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V37	26	14	3.16	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V38	25	14	3.11	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V39	25	15	3.16	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V40	26	14	3.01	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert

Kunststoffrahmen mit Stahleinschiebling / 76172 / V31(Hiliti S-MD 03 PS 5.5 x 50 mm A2

Versuch [Nr]	e1 [mm]	h3 [mm]	F _{Trag} [kN]	Bemerkungen [-]
V41	33	17	4.45	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V42	33	17	4.82	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V43	33	17	5.39	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V44	33	18	4.20	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V45	33	18	4.04	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V46	33	17	4.50	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V47	33	17	4.75	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V48	33	17	5.05	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V49	33	17	4.87	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V50	33	17	4.50	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert

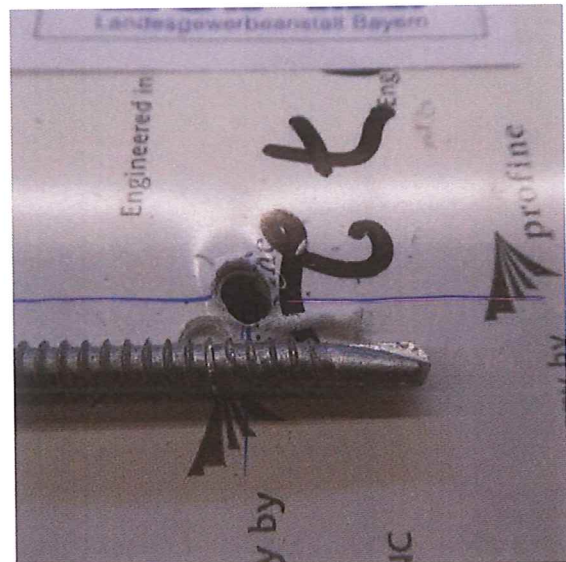
Kunststoffrahmen mit Stahleinschiebling / 76171 / V31(Hiliti S-MD 03 PS 5.5 x 50 mm A2

Versuch [Nr]	e1 [mm]	h3 [mm]	F _{Trag} [kN]	Bemerkungen [-]
V51	26	16	5.39	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V52	25	15	5.12	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V53	25	15	5.37	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V54	25	15	4.54	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V55	25	16	5.40	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V56	26	16	4.40	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V57	25	17	4.64	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V58	26	16	4.02	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V59	25	15	4.01	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V60	26	16	5.06	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert

Kunststoffrahmen mit Stahleinschiebling / 76173 / V31(Hiliti S-MD 03 PS 5.5 x 50 mm A2

Versuch [Nr]	e1 [mm]	h3 [mm]	F _{Trag} [kN]	Bemerkungen [-]
V61	54	14	4.91	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V62	54	14	4.31	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V63	54	14	4.83	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V64	54	14	5.26	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert
V65	54	14	5.21	Kombiniertes Versagen - Muttergewinde • Schraube abgesichert

Wie bei den Aluminiumprofilen, zeigten auch die Kunststoffrahmen mit Stahleinschieblingen einheitliches Versagen. Nach Beulen und Plastizieren des Obergutes des Einschieblings knöpfte die Bohrschraube aus. Hierbei wurden sowohl das Muttergewinde als auch das Schraubengewinde beschädigt. Exemplarisch zeigen dies die folgenden Fotografien.



Die in den Anlagen enthaltene statistische Auswertung wurde je Versuchsserie und zusammenfassend je Blechdicke bei den Kunststoffrahmen mit Stahleinschiebling vorgenommen. Die Mitwirkung des Kunststoffrahmens bei der Ermittlung der Auszugstragfähigkeit ist vernachlässigbar gering und wird nicht angesetzt.

Damit ergeben sich die in der folgenden Tabelle angegebenen Auszugstragfähigkeiten F_{Rd} [kN] für die Bemessung der Schraubverbindungen mit den hier untersuchten Bohrschrauben bei Beanspruchung durch zentrischen Zug wie folgt:

Profil [-]	Blechdicke [mm]	UEW [kN]	F_{Rd} [kN]	
AWS 75.SI 382290	2 x 1,6	2.17	1.08	
AWS 75.SI 382150	2 x 1,6	2.41	1.20	
76172 + V313	1.5	2.52	1.26	
76171 + V306	1.5	2.88	1.44	
76172 + V314	2	3.93	1.97	
76171 + V310	2	4.06	2.03	
76173 + V310 + V306	2	3.81	1.91	
Alu-Verbundprofil	2 x 1,6	2.27	1.15	Hilti S-MD 05 PS 5.5 x 52 mm A2
Einschiebling DX 51 D	1.5	2.67	1.34	Hilti S-MD 03 PS 5.5 x 50 mm A2
Einschiebling DX 51 D	2.2	3.95	1.95	Hilti S-MD 03 PS 5.5 x 50 mm A2

Die Auszugstragfähigkeit sowohl bei den Aluminium-Profilen als auch bei den Kunststoffprofilen mit Stahleinschieblingen hängt von der Zugfestigkeit des Muttergewindes ab.

Für die Aluminium-Verbundprofile ist die Materialgüte und somit die Zugfestigkeit des Aluminiums mit der Bezeichnung EN AW 6060/T66 durch die DIN EN 1999 definiert. Es gilt $f_u = 215 \text{ N/mm}^2$.

Tabelle 7 der DIN EN 10346 definiert einen Bereich von $270 \text{ N/mm}^2 \leq f_u \leq 500 \text{ N/mm}^2$ für die Stahlsorte DX51D (Mat. Nr. 1.0917). Daher können die vorstehenden, experimentell ermittelten Werte für die Kunststoffrahmen mit Stahleinschiebling lediglich als Anhaltswert für die Auszugstragfähigkeit herangezogen werden, solange die Zugfestigkeit der untersuchten Einschieblinge nicht bekannt ist.

Eine rechnerische Untersuchung nach [3] zur Bestimmung eines unteren Wertes für die Auszugstragfähigkeit der Hilti S-MD 03 PS 5,5 x 50 mm A2 Bohrschraube in Einschieblingen aus DX51D mit einer Zugfestigkeit von $f_u = 270 \text{ N/mm}^2$ ergibt:

Für eine Dicke des Muttergewindes von $t = 2,0 \text{ mm}$ ergibt sich die Auszugstragfähigkeit $F_{Rk} = 2980 \text{ [N]}$; für $t = 1,50 \text{ mm}$ ergibt sich $F_{Rk} = 1942 \text{ [N]}$.

Diese Werte sind geringer als die experimentell ermittelten 5 %-Quantilen. Die höheren Tragfähigkeiten bei den Versuchen sind auf eine höhere Zugfestigkeit der Einschieblinge als $f_u = 270 \text{ N/mm}^2$ zurückzuführen. Diese dürfte bei einem Wert von $f_u \approx 350 - 400 \text{ N/mm}^2$ liegen.

Das Prüfamt für Standsicherheit der LGA Zweigstelle Würzburg empfiehlt daher folgende Beanspruchbarkeiten für die hier untersuchten Hilti Bohrschrauben unter zentrischem Zug und den hier behandelten Einsatzbedingungen zu verwenden:

Hilti S-MD 05 PS 5.5 x 52 mm A2

Alu-Verbundprofil EN AW 6060/T66 - $t = 2 \times 1,6 \text{ mm}$ / Einschraubtiefe $\geq 14 \text{ mm}$

$F_{Rd} \text{ [N]}$	1150
----------------------	------

Hilti S-MD 03 PS 5.5 x 50 mm A2

Kunststoffrahmen mit Einschiebling aus DX51D / $t = 1,5 \text{ mm}$ / / Einschraubtiefe $\geq 14 \text{ mm}$

$F_{Rd} \text{ [N]}$	1942 / 1.50	1300
----------------------	-------------	------

Kunststoffrahmen mit Einschiebling aus DX51D / $t = 2.0 \text{ mm}$ / / Einschraubtiefe $\geq 14 \text{ mm}$

$F_{Rd} \text{ [N]}$	2980 / 1.50	≈ 1980
----------------------	-------------	----------------

Ein mögliches Durchknöpfen der Schrauben im vorgesehenen OnLevel Skyforce Profil ist nicht Gegenstand unserer Untersuchungen.