

Tragfähigkeit von direkt befestigten Sandwichelementen unter zyklischer Beanspruchung

T 3365

T 3365

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2019

ISBN 978-3-7388-0282-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Tragfähigkeit von direkt befestigten Sandwichelementen unter zyklischer Beanspruchung

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt des DIBt und IFBS



Institut für Stahlbau und
Werkstoffmechanik

Franziska-Braun-Straße 3
64287 Darmstadt

Tel. +49 6151 16 - 22401
Fax +49 6151 16 - 22404

Datum
31. Oktober 2018

Leitung der Forschungsstelle: Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

Sachbearbeiter: Alexander Engel, M.Sc.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Forschungsziel	4
2	Grundlagen	5
2.1	Befestigung	5
2.2	Durchknöpfen	7
3	Stand der Forschung	9
3.1	Klee/Seeger	9
3.2	EAD 330047-01-0602	9
3.3	prEN 14509-2	10
3.4	ECCS Nr. 127	12
3.5	Misiek et al.	12
3.6	Kilian	14
4	Versuchsaufbau und -beschreibung	15
4.1	Versuche am Mittelaufleger	15
4.2	Versuche am Endaufleger	18
5	Versuchsparameter und Materialkennwerte	20
6	Versuchsprogramm	26
7	Versuchsergebnisse	33
7.1	RE – ROMAKOWSKI/EJOT	34
7.1.1	Mittelaufleger	34
7.1.2	Endaufleger	48
7.2	RH – ROMAKOWSKI/HILTI	62
7.2.1	Mittelaufleger	62
7.2.2	Endaufleger	69
7.3	RS – ROMAKOWSKI/SFS	74
7.3.1	Mittelaufleger	74
7.3.2	Endaufleger	85
7.4	FE – FISCHER/EJOT	94
7.4.1	Mittelaufleger	94

7.4.2	Endauflager	110
7.5	FH – FISCHER/HILTI	123
7.5.1	Mittelaufleger	123
7.5.2	Endauflager	134
7.6	FS – FISCHER/SFS	143
7.6.1	Mittelaufleger	143
7.6.2	Endauflager	153
7.7	AE – ARCELOR/EJOT	160
7.7.1	Mittelaufleger	160
7.8	AH – ARCELOR/HILTI	163
7.8.1	Mittelaufleger	163
7.8.2	Endauflager	171
7.9	AS – ARCELOR/SFS	179
7.9.1	Mittelaufleger	179
7.9.2	Endauflager	189
8	Auswertung	199
8.1	Statische Versuche	199
8.2	Zyklische Versuche	202
8.2.1	Elemente mit Kern aus PUR/PIR-Schaum	202
8.2.2	Elemente mit Kern aus Mineralwolle	208
9	Zusammenfassung und Empfehlung	212
10	Literaturverzeichnis	214

1 Einleitung

Die Tragfähigkeit direkter Befestigungen von Sandwichelementen ist in Deutschland in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-14.4-407 [1] oder dem europäisch gültigen EAD 330047-01-0602 [2] geregelt. Dort werden statische Versuche zur Ermittlung der Durchknöpfragfähigkeit für jede Blechdicke gefordert und anhand von Bügelproben bestimmt. Zyklische Versuche sind optional und werden momentan nicht durchgeführt. Um die Auswirkung zyklischer Belastungen – z. B. periodisch wiederkehrende Windlasten – zu berücksichtigen, wird die statische Durchknöpfragfähigkeit pauschal mit dem Faktor 0,67 reduziert. Das Prüfverfahren und der Abminderungsfaktor basieren auf den Forschungsergebnissen von *Klee/Seeger* [3] für Stahltrapezprofile. Bügelproben spiegeln das tatsächliche Verhalten eines Sandwichelements jedoch nur bedingt wieder.

Seitens der Sandwichindustrie und der Forschungsstelle besteht die Vermutung, dass diese Abminderung für Sandwichelemente zu konservativ angesetzt ist. Dies führt zu einer größeren Anzahl an Verbindungsmitteln je Schraubenreihe, was unter Umständen eine Reduktion der Bauteiltragfähigkeit über dem Zwischenaufleger zur Folge hat. Dadurch kann es zu kleineren maximalen Spannweiten kommen, wodurch höhere Kosten für die Unterkonstruktion entstehen. Teilweise sind Projekte durch vorgegebene Randbedingungen nicht mehr wirtschaftlich in Sandwichbauweise realisierbar, was für die gesamte Sandwichindustrie ein erhebliches Problem darstellt.

1.1 Forschungsziel

Die vorläufige prEN 14509-2 [5] und die ECCS-Empfehlung Nr. 127 [4] geben Verfahren zur Durchführung von Durchknöpfversuchen unter zyklischer Belastung an kleinformatischen Sandwichelementen an. Aus den Versuchsergebnissen können zyklische Abminderungsfaktoren für die statische Tragfähigkeit der Verbindung ermittelt werden. Im Gegensatz zu Versuchen an Bügelproben werden hierbei die Tragwirkung des Sandwichelements, z. B. die Stützung des Deckblechs durch die Kernschicht, sowie die Linierung des Deckblechs erfasst.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Abminderung der Tragfähigkeit von direkten Befestigungen unter zyklischer Belastung anhand eines umfangreichen Versuchsprogramms zu bestimmen und ggf. gegenüber der bisherigen Zulassungspraxis zu verbessern. Zu diesem Zweck wurden Durchknöpfversuche an kleinformatischen Sandwichelementen verschiedener Hersteller, Kernmaterialien, Elementhöhen und Deckblechdicken sowie Schrauben verschiedener Hersteller am Mittel- und Endaufleger durchgeführt und ausgewertet.

2 Grundlagen

2.1 Befestigung

Sandwichelemente werden im Bauwesen überwiegend als gebäudeabschließende Dach- und Fassadenelemente eingesetzt. Die Verbindung mit der Unterkonstruktion aus Stahl oder Holz erfolgt mechanisch über gewindefurchende Schrauben oder Bohrschrauben. Witterungsbedingt sind die Schrauben korrosionsbeständig und mit einer EPDM-Dichtscheibe versehen.

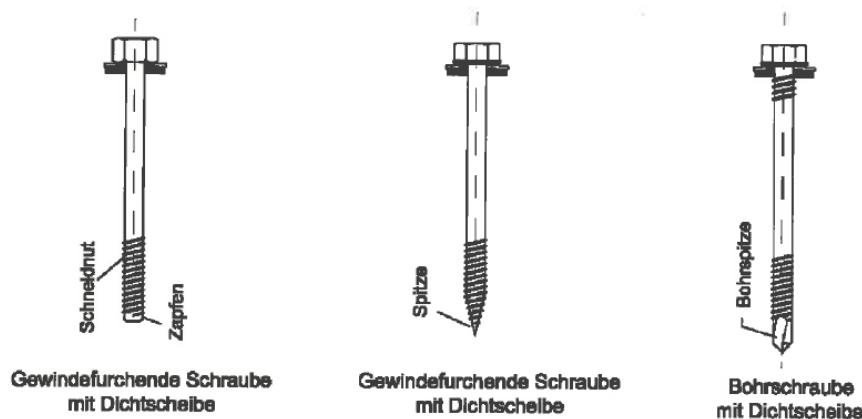


Bild 2.1: Verbindungsmittel für Sandwichelemente [1]

Auf die Verbindungsmittel wirken in der Regel Zug- und Abscherlasten. Bei Wandelementen resultiert die Zuglast aus Windsog an der Fassade, die Scherbeanspruchung überwiegend aus dem Eigengewicht der Elemente.

Es wird zwischen direkter und indirekter Befestigung unterschieden. Bei der indirekten Befestigung sind die Schrauben von außen nicht sichtbar. Um architektonischen Ansprüchen zu genügen wird die Schraube durch eine spezielle Fugengeometrie verdeckt, weswegen die Anordnung der Schrauben in den Längsfugen erfolgt. Hierbei wird das Element einseitig mit der Unterkonstruktion verschraubt. Das nebenliegende Element wird kraftschlüssig in das befestigte Element eingehängt, wobei die Kraftübertragung über die profilierte Fuge erfolgt.

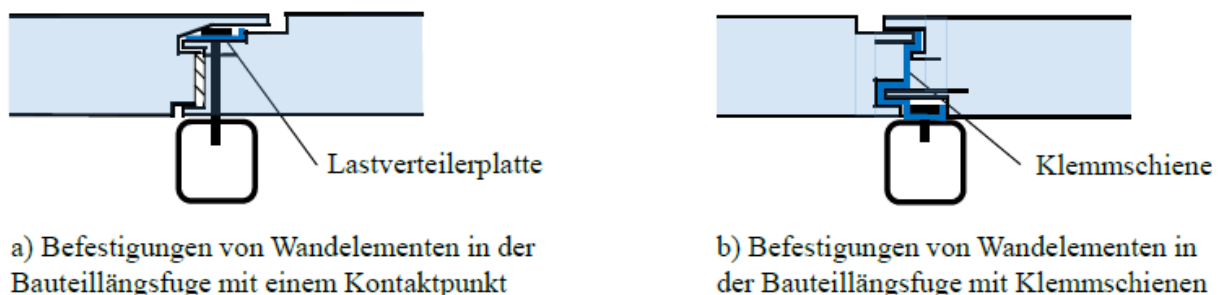


Bild 2.2: Prinzipdarstellung von indirekten Befestigungen aus [7]

Bei der im Rahmen dieses Projektes betrachteten direkten Befestigung ist die Schraube von außen sichtbar. Sie wird vollständig durch das Paneel in die Unterkonstruktion geschraubt und durchdringt dabei beide Deckbleche und die Kernschicht. Eine Dichtscheibe zwischen Schraubenkopf und Deckblech verhindert das Eindringen von Feuchtigkeit auf der bewitterten Seite des Paneels. Stützgewinde am Schraubenkopf (vgl. Bild 2.1, rechts) sollen die Dellenbildung beim Einschrauben reduzieren [7].

Im Gegensatz zur indirekten Befestigung ist die Anordnung der Verbindungsmittel nicht auf die Längsfugen beschränkt. Es sind je Auflager mindestens zwei Verbindungsmittel anzuordnen, wobei die Schraubenanzahl von der Auflagerkraft und der Ausnutzung der Befestigungsmittel abhängt. An Zwischenauflagern kommt es zu einer Überlagerung lokaler Beanspruchungen aus der Lasteinleitung über den Schraubenkopf und globaler Biegebeanspruchungen. Bei erhöhter Anzahl von Verbindungsmitteln über dem Mittelaufleger ist die globale Tragfähigkeit des Sandwichelements zu verringern [7].

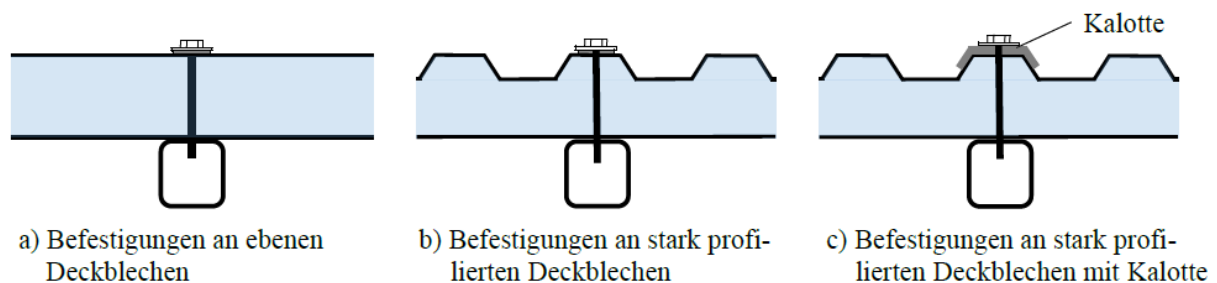


Bild 2.3: Prinzipdarstellung von direkten Befestigungen aus [7]

Diverse Versagensmechanismen, welche grob nach Zugversagen oder Querkraftversagen unterschieden werden (vgl. Bild 2.4 und Bild 2.5), können bei direkten Befestigungen von Sandwichelementen auftreten.

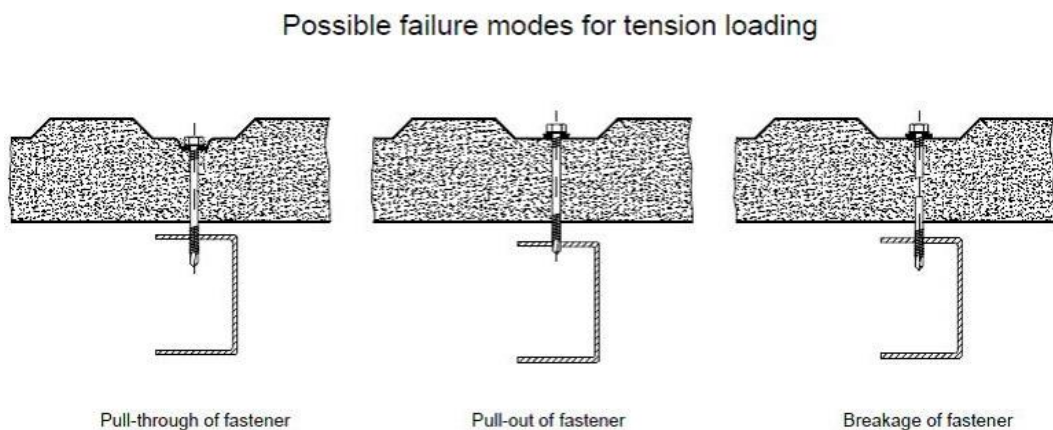


Bild 2.4: Zug-Versagensmechanismen [2]

Possible failure modes for shear loading

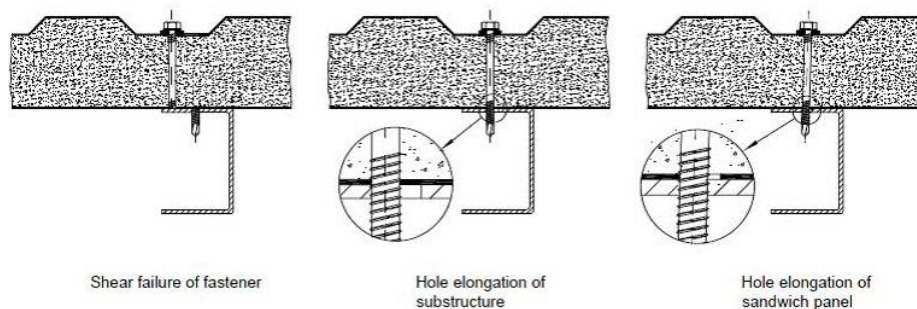


Bild 2.5: Schub-Versagensmechanismen [2]

2.2 Durchknöpfen

Eine häufig maßgebende Versagensform bei direkten Verbindungen von Sandwichelementen ist das Durchknöpfen der Befestigung durch das äußere Deckblech bei einer Zugbelastung der Schraube.

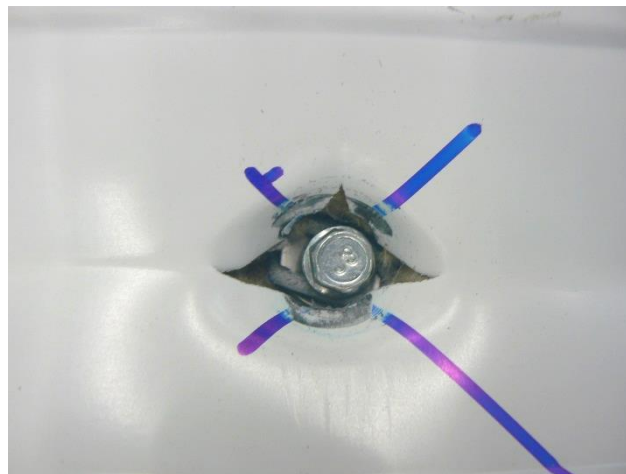


Bild 2.6: Durchknöpfen durch das Deckblech

Von *Lübke* [10], *Kilian* [7], *Misiek et al.* [6] und *Hassinen et al.* [11] wurden umfangreiche numerische Untersuchungen und Versuche zum Durchknöpferversagen durchgeführt. Der Lastabtrag von der Unterlegscheibe in das anliegende Deckblech erfolgt bei Belastungsbeginn fast ausschließlich über Biegung im Deckblech und über die elastische Bettung der Kernschicht. Aufgrund der geringen Biegesteifigkeit der dünnen Deckbleche überschreiten die Verformungen bereits bei geringer Last die Deckblechdicke. Hierbei stellt sich ein rotationssymmetrischer Membranspannungszustand ein, welcher mit zunehmender Laststufe und Verformung dominiert. Radial verlaufende Zugspannungen erreichen ihren Maximalwert in geringem Abstand zum Schraubenloch und klingen mit zunehmendem Abstand vollständig ab (s. Bild 2.7). Zwängungen im Blech führen zur Ausbildung eines schmalen Zugrings um das Schraubenloch sowie eines breiten Druckrings in einem gewissen Abstand zu Öffnung [7]. Der Zugring erreicht schon bei geringen Lasten die Streckgrenze und vergrößert sich bei zunehmender Belastung, was zu einer Verschiebung des Nulldurchgangs und zu einem überpro-

portionalen Wachstum der Druckspannungen führt. Das Versagen tritt ein, wenn die Bruchdehnung am Rand des Zugringes überschritten wird. Hierbei entsteht ein sternförmiges Rissbild mit gleichmäßig verteilten Rissen am Lochrand (vgl. Bild 2.6) [7].

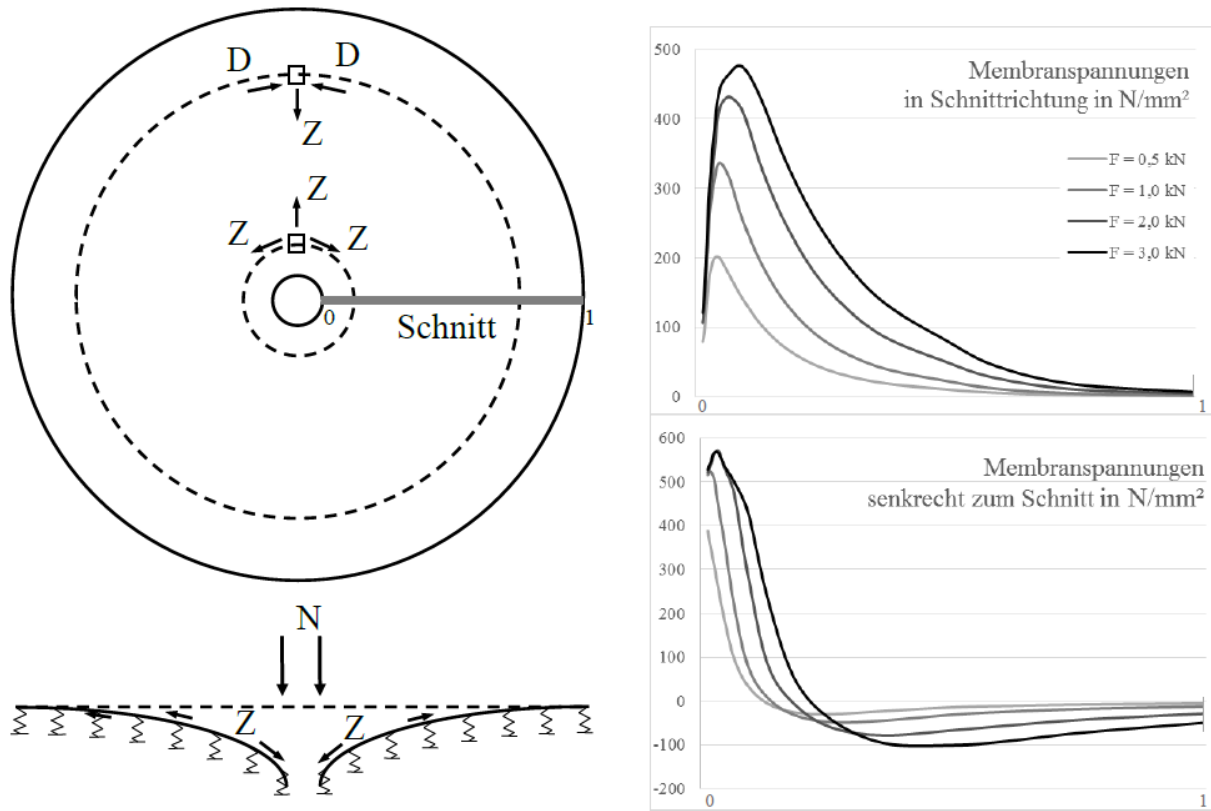


Bild 2.7: Membranspannungen im Deckblech aus [7]

3 Stand der Forschung

Ausgangsbasis bildeten in erster Linie die momentan gültigen Regelungen, also die bauaufsichtliche Zulassung Z-14.4-407 [1], das europäische EAD 330047-01-0602 [2], die ECCS-Empfehlung Nr. 127 [4] sowie die vorläufige europäische Norm prEN 14509-2 [5]. Weitere Veröffentlichungen zum Durchknöpfen können dem Literaturverzeichnis (Kap. 10) entnommen werden. Einige für dieses Projekt relevante Regelungen und Forschungsergebnisse werden im Folgenden vorgestellt.

3.1 Klee/Seeger

Ein Forschungsvorhaben von *Klee/Seeger* [3] aus dem Jahr 1979 enthält die vereinfachte Ermittlung von zulässigen Kräften für Befestigungen von Stahltrapezprofilen. Durchknöpfversuche wurden an Bügelproben durchgeführt, welche den gängigen Abmessungen von Trapezprofilen entsprachen. Bezogen auf einen Grenzwert von 5000 Lastspielen für eine Windbelastung, ergab sich eine Resttragfähigkeit von 30 – 70 % der statischen Tragfähigkeit, wobei der Wert für Schraubenbefestigungen mit beliebiger Blechdicke auf 40 % festgelegt wurde. Unter Berücksichtigung einer globalen statischen Sicherheit von $\gamma = 2,0$ und einer globalen Sicherheit gegen Versagen aus zyklischer Beanspruchung von $\gamma = 1,3$ ließ sich ein Abminderungsfaktor der charakteristischen Tragfähigkeit (5 %-Fraktilwert) aus quasi-statischer Belastung mit

$$\alpha_{\text{zykl}} = \frac{2,0}{1,3} \cdot 0,4 = 0,62 \quad (3.1)$$

berechnen, welcher vereinfacht wurde zu

$$\alpha_{\text{zykl}} = 2/3 = 0,67 \text{ (vgl. [6])}. \quad (3.2)$$

Der Abminderungsfaktor findet sich auch im EAD 330047-01-0602 wieder.

3.2 EAD 330047-01-0602

Das EAD (European Assessment Document) [2] enthält unter anderem Angaben zur versuchsgestützten Ermittlung der Tragfähigkeit von Sandwich-Befestigungen.

Gemäß *Kapitel 2.2.2.1* des EAD sind mindestens zehn Durchknöpfversuche für jede relevante Deckblechdicke durchzuführen und statistisch auszuwerten, um die Durchknöpftragfähigkeit unter vorwiegend ruhender Belastung („Static Pull-through“) zu erhalten. Die Belastung ist nach Möglichkeit weggesteuert mit einer Steigerungsrate $< 5 \text{ mm/min}$ aufzubringen. Ein beispielhafter Versuchsaufbau ist im *Anhang 3* des EAD dargestellt (Bügelprobe, vgl. Bild 3.1). Die Ergebnisse sind gem. *Kap. 2.2.2.4* mit Hilfe der gemessenen mittleren Deckblechdicke und -festigkeit auf die Nennwerte des Herstellers zu normieren.

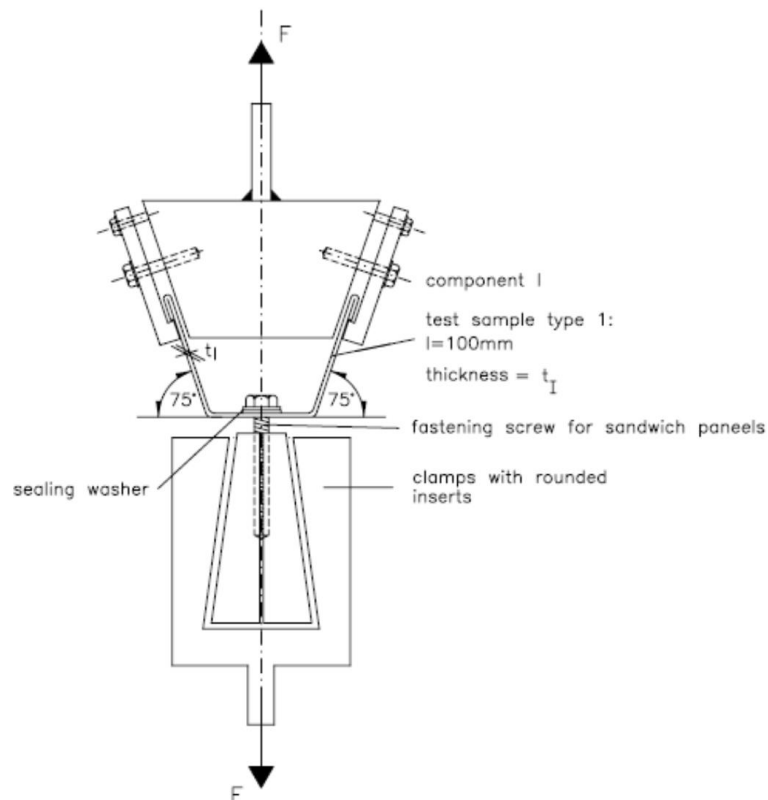


Bild 3.1: Versuchsdarstellung der Bügelprobe [2]

Kapitel 2.2.2.2 erläutert die Durchführung von Versuchen unter zyklischer Belastung an Bügelproben. Die Tragfähigkeit ist durch mindestens fünf zyklische Versuche zu bestimmen. Für die anzusetzende Oberlast wird kein definierter Wert angegeben. Die Unterlast soll mindestens 10 % der Oberlast betragen. Nach 5000 Lastspielen mit einer Frequenz von max. 5 Hz ist ein Auszugversuch durchzuführen. Die Resttragfähigkeit muss min. 80 % der Tragfähigkeit aus den statischen Versuchen erreichen, ansonsten sind die Versuche mit reduzierter Oberlast zu wiederholen.

Mit den Versuchsergebnissen aus den statischen und zyklischen Versuchen kann gemäß Kap. 2.2.2.2 bzw. Kap. 2.2.2.4 ein Abminderungsfaktor α_{zykl} ermittelt werden.

Werden keine zyklischen Versuche durchgeführt, ist der pauschale Faktor $\alpha_{\text{zykl}} = 2/3$ anzusetzen. Damit lässt sich die charakteristische Durchknöpffragfähigkeit unter zyklischer Belastung mit

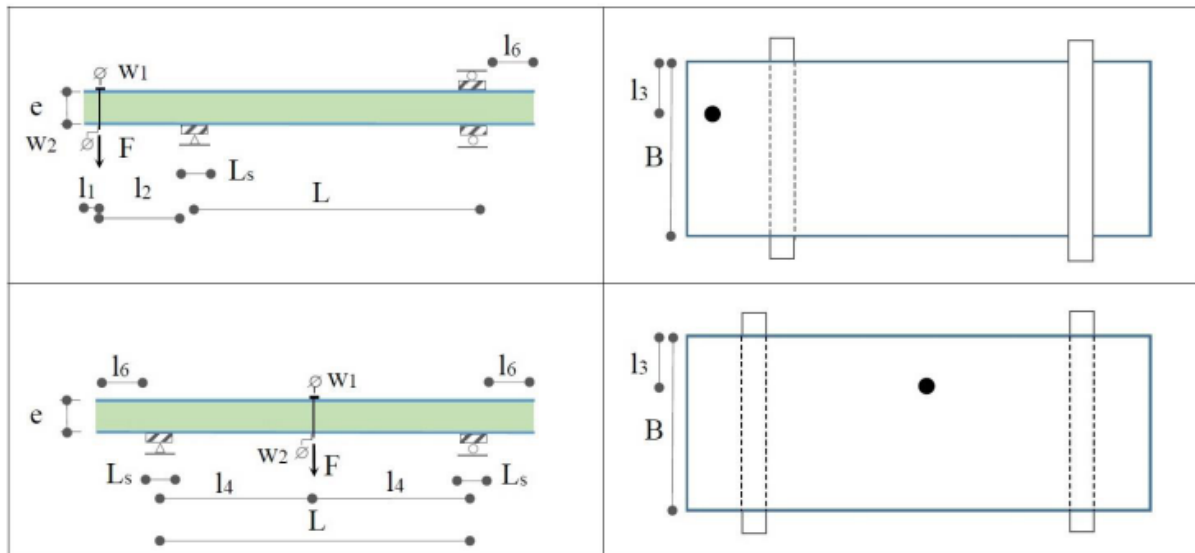
$$F_{\text{Rk,zykl}} = \alpha_{\text{zykl}} F_{\text{Rk,stat}} \quad (3.3)$$

berechnen.

3.3 prEN 14509-2

In *Anhang F* der prEN 14509-2 [5] finden sich Angaben zur versuchsgestützten Ermittlung der Tragfähigkeit von Befestigungen an Sandwichelementen.

Sichtbare Befestigungen werden in *Kap. F.2.2* des Dokuments behandelt. Die Versuchsdurchführung entspricht dem in der ECCS-Empfehlung Nr. 127 [4] erläuterten Vorgehen. Die Bestimmung der Tragfähigkeit erfolgt dabei an kleinformatigen Sandwichelementen mit Stützweiten ≥ 800 mm für Versuche ohne Randeinfluss bzw. Kraglängen ≥ 100 mm für Versuche mit Randeinfluss (siehe Bild 3.2).



- e corresponds to the distance between the centroids of the facings
- l_1 corresponds to the minimum edge distance defined by the manufacturer
- $l_2 \geq \max\{1,25e, 100 \text{ mm}\}$
- $l_3 \geq$ minimum distance to be defined by the manufacturer
- $l_4 \geq \max\{0,5 L, 400 \text{ mm}\}$
- l_6 length of overhang on support
- L span length of the specimen
- L_s support width
- F load
- w_1 and w_2 displacement of the sandwich panel and the end of the fastener correspondingly
- B overall width of the specimen

L and L_s shall be large enough to prevent crushing failure on support

Bild 3.2: Prüfanordnung für sichtbare Befestigungen [5]

Nach *Kap. F.2.2.4.2* ist zunächst die Tragfähigkeit unter statischer Belastung zu bestimmen. Hierfür sind mindestens fünf Prüfungen für jede zutreffende Dicke der äußeren Deckschicht und Werkstoffart, oder für die schwächste Kombination jeder Familie, durchzuführen.

Die Belastung ist vorzugsweise weggesteuert bis zum Versagen zu erhöhen, wobei ein Versagen innerhalb von 3 – 5 Min. nach Beginn eintreten soll. Die lokale Eindrückung am Schraubenkopf wird mit $w = w_1 - w_2$ (vgl. Bild 3.2) bestimmt.

Sämtliche Ergebnisse der Einzelmessungen F_{obs} müssen über Anpassungsfaktoren an die Nennblechdicke und Stahlzugfestigkeit gemäß Herstellerangaben angepasst werden. Bei Proben aus unterschiedlichen Chargen ist zudem die Druckfestigkeit des Kernwerkstoffes zu normieren.

Die normierten Prüfergebnisse ergeben sich aus

$$F_{\text{adj}} = k_1 F_{\text{obs}}, \quad (3.4)$$

mit

$$k_1 = (f_u/f_{u,\text{obs}})(t/t_{\text{obs}}) \leq 1,0 \quad (3.5)$$

und

- f_u : Nennwert der Grenz-Zugfestigkeit der Deckschichtplatte,
- $f_{u,\text{obs}}$: Messwert der Grenz-Zugfestigkeit der Deckschichtplatte,
- t : Nenndicke der ebenen Metalldeckschicht,
- t_{obs} : gemessene Dicke der ebenen Metalldeckschicht.

Aus den angepassten Einzelmessungen F_{adj} wird der Mittelwert F_{Rt} und der 5 %-Fraktilwert F_{Rtk} bestimmt.

Zyklische Belastungsprüfungen sind nach *Kap. F.2.2.4.3* an vorzugsweise fünf Prüfkörpern mit je 5000 Lastspielen und einer Belastungsgeschwindigkeit von maximal 5 Hz durchzuführen. Die Oberlast beträgt $k \cdot F_{\text{Rt}}$, die Unterlast $0,1 \cdot k \cdot F_{\text{Rt}}$, wobei F_{Rt} den mittleren Zugwiderstand aus den statischen Belastungsprüfungen darstellt. Der empfohlene Ausgangswert für den Faktor k beträgt 0,5.

Nach der zyklischen Belastung ist die statische Resttragfähigkeit der Prüfkörper zu bestimmen. Der Mittelwert der statischen Bruchlast nach zyklischer Beanspruchung muss größer gleich $1,3 \cdot k \cdot F_{\text{Rt}}$ sein, ansonsten ist k zu verringern. Der Grenzwert berücksichtigt die unterschiedlichen Sicherheitsniveaus zwischen quasi-statischer und zyklischer Belastung. Wird das Kriterium erfüllt, ergibt sich der Zugwiderstand der Befestigung unter zyklischer Belastung zu

$$F_{\text{Rtk,rep}} = \min(2 k F_{\text{Rtk}}, F_{\text{Rtk}}). \quad (3.6)$$

Bei Ansatz von $k = 0,5$ entspricht er der Tragfähigkeit unter statischer Belastung.

Weitere Prüfverfahren sind in *Kap. F.2.2.6* (Bügelprobe) und *Kap. F.4* (Prüfung im Realmaßstab) aufgeführt. Bei der Prüfung nach *Kap. F.2.2.6* beträgt der Abminderungsfaktor für zyklische Belastungen pauschal $2/3$.

3.4 ECCS Nr. 127

In der ECCS Nr. 127 [4] finden sich Angaben zur Versuchsdurchführung für Befestigungsmittel von Sandwichelementen. Diese entsprechen den Angaben aus der prEN 14509-2 und werden daher nicht weiter erläutert.

3.5 Misiak et al.

Misiak et al. [6] [8] untersuchten die Durchknöpftragfähigkeit bei direkter Befestigung in einem Forschungsvorhaben an der Universität Karlsruhe. Neben statischen Versuchen an Bügelproben

wurden Versuche an kleinformatischen Sandwichelementen unter statischer und zyklischer Belastung sowie mit und ohne Randeinfluss durchgeführt.

Üblicherweise wird davon ausgegangen, dass die günstige Wirkung der aussteifenden Stege der Bügelprobe durch die fehlende Bettung der Kernschicht kompensiert wird. Eines der Ziele der Arbeit war daher der Vergleich der Tragfähigkeiten zwischen Bügelprobe und Sandwichelement. Der Fokus lag auf Wandelementen mit linierten Deckblechen und Kernschichten aus PUR-Schaum (einheitliche Nennmaße $h = 80 \text{ mm}$, $t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$). Ferner wurden Dachelemente mit Trapezprofilierung und Elemente mit Mineralwollekern untersucht.

Die Versuchsergebnisse von *Misiek et al.* zeigten, dass die Durchknöpfragfähigkeit bei Wandelementen stark von der Größe der verwendeten Unterlegscheibe abhing.

Wie in Bild 3.3 zu sehen ist, lagen die am Sandwichelement gemessenen Werte bei Scheibendurchmessern kleiner 20 mm nahezu konstant bei 80 % der an Bügelproben ermittelten Tragfähigkeiten. Bei Scheibendurchmessern $> 20 \text{ mm}$ lag das Verhältnis von Sandwichelement zu Bügelprobe bei ca. 1,0.

Die Zunahme der Tragfähigkeit bei Bügelproben mit größerem Scheibendurchmesser wurde dadurch erklärt, dass sich aufgrund der festen Aufhängepunkte im Versuchsaufbau steilere Winkel zwischen Aufhängepunkt und Rand der Unterlegscheibe einstellten (Bild 3.4).

Der Unterschied zwischen Bügelprobe und Sandwichelement entstand nach *Misiek et al.* durch die nicht vollständig aktivierte Bettung durch den Kern des Sandwichelements bei kleineren Scheibendurchmessern, wodurch der positive Einfluss der Aufkantung an der Bügelprobe nicht kompensiert wurde.

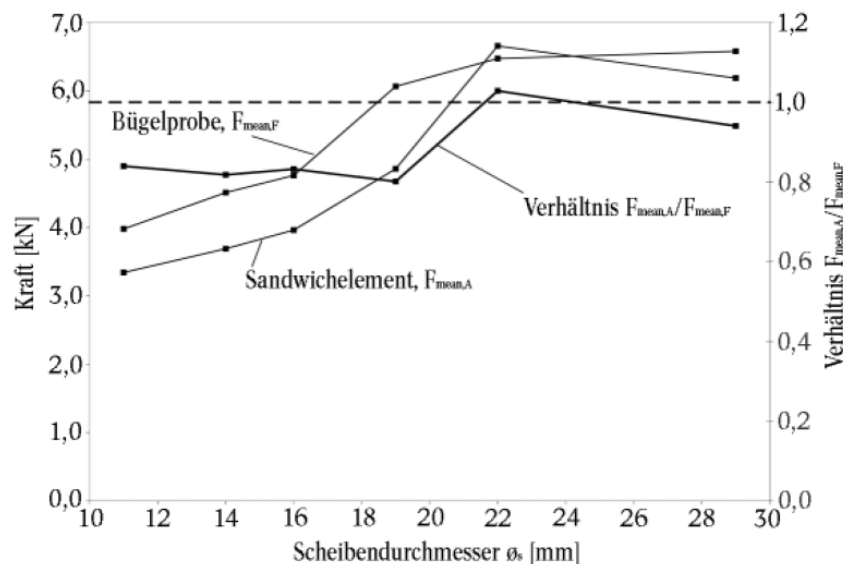


Bild 3.3: Durchknöpfragfähigkeit aus statischer Belastung in Abhängigkeit des Scheibendurchmessers [8]

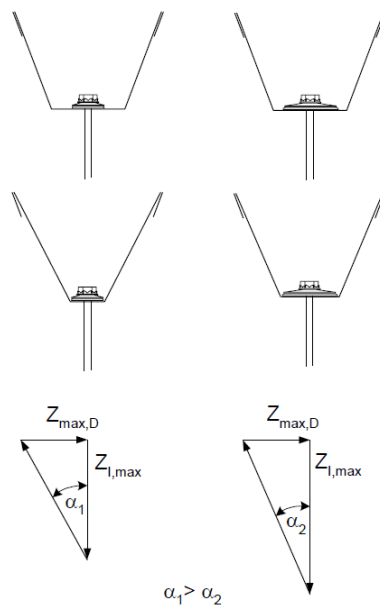


Bild 3.4: Tragfähigkeit der Bügelprobe in Abhängigkeit des Scheibendurchmessers [6]

Bei in der Praxis gebräuchlichen Scheibendurchmessern < 20 mm liegen die an Bügelproben ermittelten Tragfähigkeiten unter statischer Belastung auf der unsicheren Seite.

Versuche an Sandwichelementen unter zyklischer Belastung (5000 Lastspiele, Oberlast $0,67 - 0,5 F_{\text{mean,stat}}$) ergaben zyklische Abminderungsfaktoren von 1,0 für Scheibendurchmesser bis einschließlich 19 mm und 0,75 für die Scheibendurchmesser 22 mm und 29 mm.

Ein Vergleich zwischen Bügelprobe und Sandwichelement zeigte, dass die Ermittlung der Tragfähigkeit an Bügelproben für zyklische Belastungen auf der sicheren Seite liegt, sofern dabei der pauschale Abminderungsfaktor $\alpha_{\text{zykl}} = 2/3$ angesetzt wird. Das Verhältnis $F_{\text{Bügel,zykl}} / F_{\text{SW,zykl}}$ lag bei $0,84 - 0,89$.

Untersuchungen zum Randabstand der Befestigungen ergaben, dass die Durchknöpffragfähigkeit am Endauflager unabhängig vom Scheibendurchmesser und Randabstand nur ca. 80 % der Tragfähigkeit am Mittelaflager (ohne Randeinfluss) beträgt. Dies sei dadurch zu erklären, dass die Bettung des Kerns durch die Auflagerverdrehung nur teilweise aktiviert werden kann. Ein abschließender Vergleich zur Bügelprobe war aufgrund fehlender Versuche an Endauflagern mit zyklischer Belastung nicht möglich.

3.6 Kilian

In der Arbeit von *Kilian* [7][9] wurde die Interaktion zwischen Längs- und Querkraftbeanspruchung direkt und indirekt befestigter Sandwichelemente untersucht.

Die Versuche wurden gemäß ECCS-Empfehlung Nr. 127 [4] ausgeführt, allerdings mit kleineren Prüfkörperabmessungen. Hinsichtlich der statischen Durchknöpffragfähigkeit ergab sich eine nahezu lineare Abhängigkeit von der äußeren Deckblechdicke und der Zugfestigkeit des Deckblechs. Wie schon von *Misiek et al.* in [6] dargelegt, zeigte sich, dass die am Sandwichelement ermittelte Tragfähigkeit geringer ausfällt als bei entsprechenden Bügelproben (Unterlegscheiben $\varnothing 16$ mm).

4 Versuchsaufbau und -beschreibung

Die Versuchsdurchführung und -auswertung erfolgte in Anlehnung an prEN 14509-2 [5] (s. Kap. 3.3). Es wurden kleinformartige Sandwichelemente verwendet.

Untersuchungen von *Lübke* [10] ergaben, dass die Beanspruchungen durch Biegemomente und Querkräfte aus dem Globalsystem, trotz Einhaltung der in Bild 3.2 vorgeschlagenen Mindestspannweiten, überwiegen können. An Stelle eines lokalen Durchknöpfversagens trat häufig ein Knittern des Deckblechs über die Elementbreite auf, weswegen die vorgeschlagenen Spannweiten nur eingeschränkt zur Untersuchung der Durchknöpftragfähigkeit anwendbar sind.

Ferner zeigte *Kilian* [7], dass bei zu geringen Probekörperabmessungen ebenfalls ein Knittern des Deckblechs auftreten kann. Der sich aus dem Membranspannungszustand einstellende, äußere Druckring (vgl. Bild 2.7) wird durch die begrenzte Geometrie eingeschnürt, was zu einem Anstieg der Druckspannungen bis zur Knitterspannung führen kann.

In Anlehnung an [6], [7] und [10] wurde die Abmessung der Probekörper auf 400 x 400 mm reduziert.

4.1 Versuche am Mittelaufleger

Die Sandwichelemente wurden mit einer Spannweite von 200 mm als gelenkig gelagerte Einfeldträger geprüft. Der Schraubenkopf lag – wenn nicht anders angegeben – am äußeren Deckblech (Produktionsunterseite). Die Linierung der Deckbleche verlief stets in Spannrichtung. Alle relevanten Abstände und Abmessungen des Versuchsaufbaus sind in den nachfolgenden Bildern angegeben.

Die Prüflast wurde in Bauteilmitte über einen Hydraulikzylinder mit angeschlossenem Servoventil aufgebracht. Vertikale Reaktionskräfte wurden über zwei U-Profile (U 100) aufgenommen, welche über je zwei außen liegende Gewindestangen mit einem Träger (HEB 100) verbunden waren. Eine gelenkige Lagerung wurde über zwei an den U-Profilen befestigte Rundstähle gewährleistet. Zur Vermeidung hoher lokaler Auflagerpressungen wurden Lastverteilplatten zwischen innerem Deckblech und Rundstahl vorgesehen.

Die Belastung der Auszugversuche erfolgte weggesteuert mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit, welche so gewählt wurde, dass ein Versagen zwischen 3 und 5 Minuten eintrat. In den Versuchen mit zyklischer Belastung erfolgte die Lastaufbringung kraftgesteuert. Aus den mittleren Durchknöpflasten der statischen Versuche wurde die Lastamplitude jeder Versuchsreihe bestimmt. Mit einer Frequenz von maximal 5 Hz wurden jeweils 5000 Lastspiele durchgeführt. Anschließend erfolgte die Kontrolle der Resttragfähigkeit mittels Auszugversuch.

Die Prüflast wurde per Kraftmessdose gemessen, der Zylinderweg per Wegaufnehmer. Mit zwei weiteren induktiven Wegaufnehmern an der gegenüberliegenden Deckblechseite wurde die Elementverformung gemessen. Die Deckblechverformung am Schraubenkopf ergab sich aus der Differenz zwischen Zylinderweg und Elementverformung.

Die analogen Messdaten wurden mit einem Messverstärkersystem verstärkt, digitalisiert und über eine Messsoftware aufgezeichnet. Die Auswertung und grafische Darstellung erfolgte mittels MS Excel.

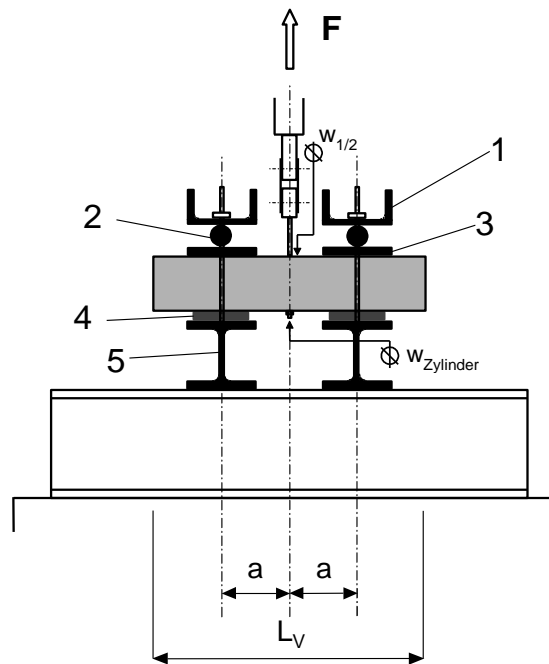


Bild 4.1: Prinzipskizze Versuchsaufbau Mittelaufleger, Ansicht 1

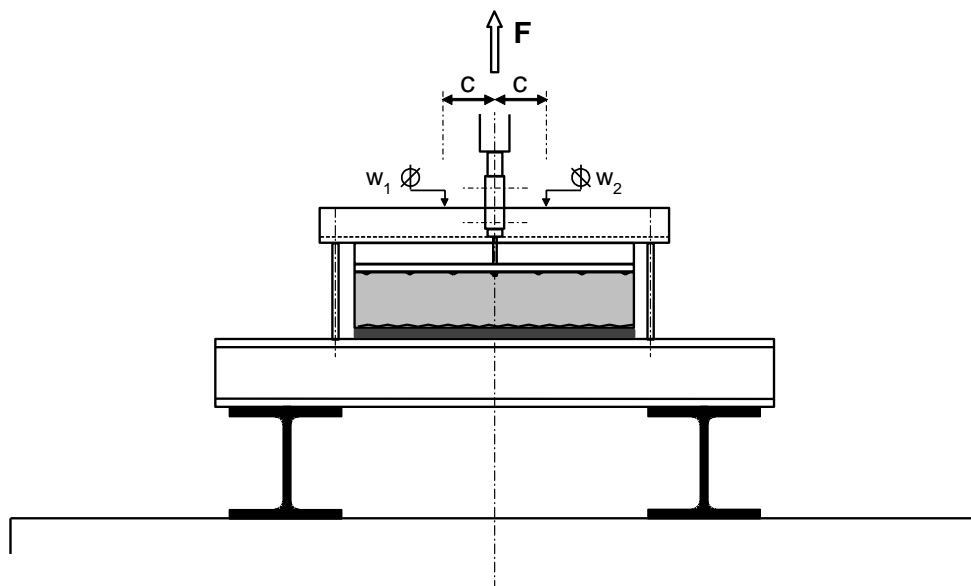


Bild 4.2: Prinzipskizze Versuchsaufbau Mittelaufleger, Ansicht 2

F =	Prüflast über Hydraulikzylinder	1 =	U 100
L_V =	Prüfkörperlänge = 400 mm	2 =	Rundstahl \varnothing 30 mm
a =	100 mm	3 =	Lastverteilerplatte 100 x 10 mm
$2a$ =	Stützweite = 200 mm	4 =	Moosgummistreifen 80 x 15 mm
c =	Abstand Wegaufnehmer = 50 mm	5 =	HEB 100



Bild 4.3: Ansicht Versuchsaufbau



Bild 4.4: Versuchsaufbau

4.2 Versuche am Endauflager

Die Sandwichelemente wurden als gelenkig gelagerte Einfeldträger mit Kragarm geprüft. Der Mittenabstand zwischen den Auflagerpunkten betrug 200 mm, die Kraglänge von Auflagermitte bis zur Achse des Verbindungsmittels 80 mm und der Randabstand von Achse Verbindungsmittel zum Prüfkörperendrand 20 mm. Letzterer entspricht dem Mindestrandabstand gemäß Zulassung der Sandwichhersteller und stellte den ungünstigsten Fall für die Versuche dar. In einigen Versuchen wurde der Randabstand auf 40 mm vergrößert.

Der Schraubenkopf lag – wenn nicht anders angegeben – am äußeren Deckblech (Produktionsunterseite). Die Linierung der Deckbleche verlief stets in Spannrichtung. Alle relevanten Abstände und Abmessungen des Versuchsaufbaus sind in den nachfolgenden Bildern angegeben. Die prinzipielle Versuchsdurchführung kann Kap. 4.1 entnommen werden.

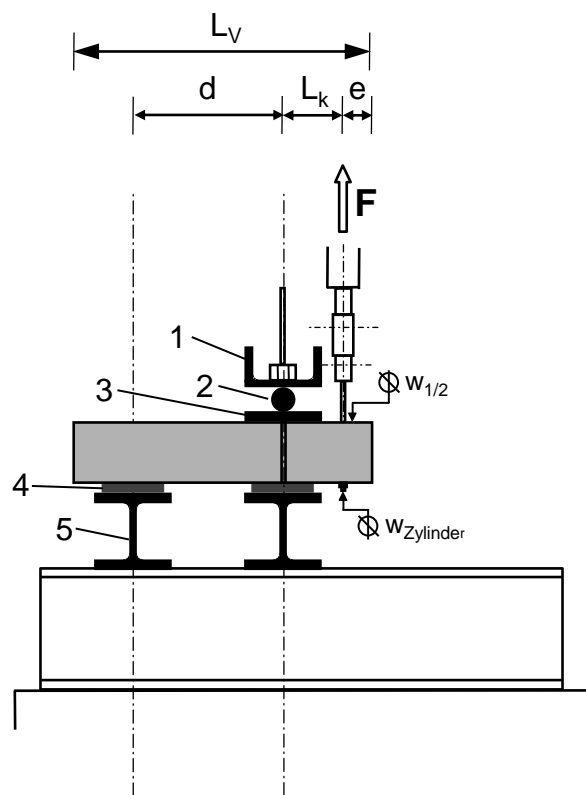


Bild 4.5: Prinzipskizze Versuchsaufbau Endauflager, Ansicht 1

F =	Prüflast über Hydraulikzylinder	1 =	U 100
L _V =	Prüfkörperlänge = 400 mm	2 =	Rundstahl Ø 30 mm
L _k =	Länge der Auskragung = 80 mm	3 =	Lastverteilerplatte 100 x 10 mm
e =	Randabstand Verbindungsmittel, 20/40 mm	4 =	Moosgummistreifen 80 x 15 mm
c =	Abstand Wegaufnehmer = 50 mm	5 =	HEB 100
d =	Mittenabstand Auflager = 200 mm		

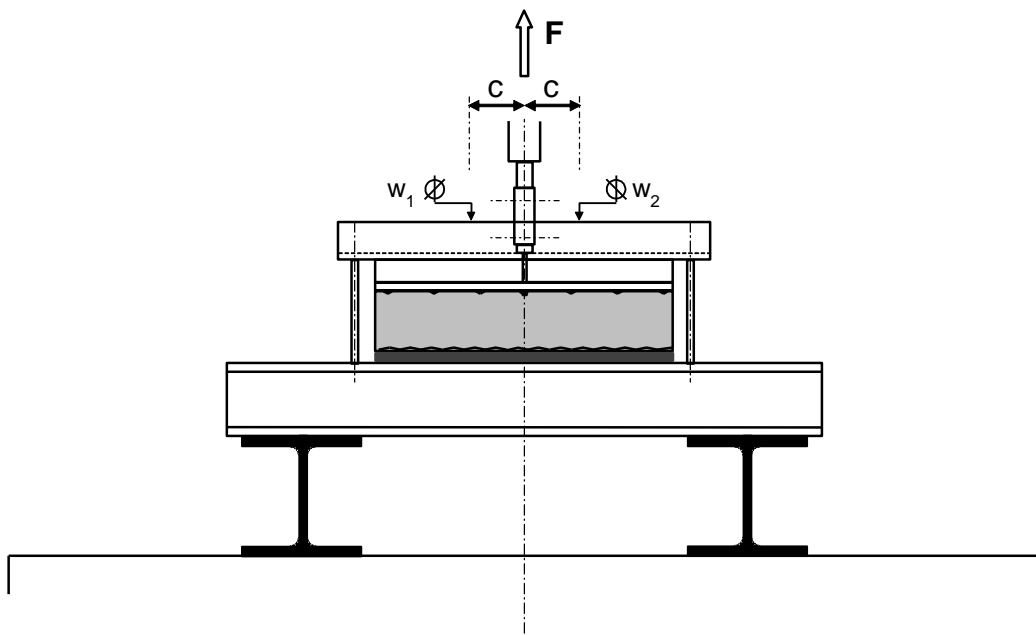


Bild 4.6: Prinzipskizze Versuchsaufbau Endauflager, Ansicht 2



Bild 4.7: Versuchsaufbau Endauflager

5 Versuchsparameter und Materialkennwerte

Es wurden Wandelemente von drei verschiedenen Herstellern mit zwei unterschiedlichen Deckblechdicken verwendet. Ferner kamen Verbindungsmittel mit und ohne Stützgewinde von drei verschiedenen Schraubenherstellern zum Einsatz. Die Versuche wurden am Mittel- und Endauflager unter statischer und zyklischer Belastung durchgeführt. Zusammengefasst wurden folgende Parameter kombiniert:

- Drei Sandwichhersteller mit beidseitig linierten Deckblechen (2x PUR¹-Schaum, 1x Mineralwolle)
- Zwei Deckblechdicken der äußeren Deckschicht (Nennstärken ca. 0,5 mm und 0,6 mm)
- Zwei Elementhöhen (80 mm und 140 mm)
- Drei Schraubenhersteller (mit und ohne Stützgewinde)
- Mittel- und Endauflagerversuche

Weniger sinnvolle Parameterkombinationen wurden im Vorhinein gestrichen. Es ergaben sich in Summe ca. 700 Einzelversuche. Im Folgenden werden die verwendeten Schrauben und Sandwichenelemente aufgelistet.

Tab. 5.1: Auflistung der verwendeten Schrauben

Hersteller	Elementhöhe in mm	Stützgewinde	D _{Scheibe} in mm	Bezeichnung
EJOT	80	ja	16	JT3-D-6H-5,5/6,3x197
		nein		JT3-6-5,5x170
	140	ja		JT3-D-6H-5,5/6,3x237
		nein		JT3-18-5,5x235
SFS	80	ja	16	SXC 5-S16-5,5x160
		nein		TDB-S-S16-6,3x178 ²
	140	ja		SXC 5-S16-5,5x235
		nein		TDB-S-S16-6,3x220 ²
HILTI	80	ja	16	S-CD53S-5,5x156
		nein		S-CDH53S-5,5x156
	140	ja		S-CD53S-5,5x234
		nein		S-CDH53S-5,5x234

¹ Die Bezeichnung PUR wird im Folgenden auch für PIR-Schaum verwendet.

² Ein alternatives gewindefurchendes Verbindungsmittel mit 6,3 mm Nennstärke wurde anstelle selbstbohrender Schrauben mit 5,5 mm Nennstärke verwendet.

Tab. 5.2: Auflistung der verwendeten Sandwichelemente

Hersteller	Kern	Elementdicke in mm	Typ	Deckblech
ROMAKOWSKI (R)	Mineral- wolle	80	ROMA FP	S320, außen liniert 57,5/57,5-1,2 ($t_{Na} = 0,6$ mm), innen liniert 57,5/57,5-1,2 ($t_{Ni} = 0,5$ mm)
				S320, außen liniert 57,5/57,5-1,2 ($t_{Na} = 0,5$ mm), innen liniert 57,5/57,5-1,2 ($t_{Ni} = 0,5$ mm)
		140	ROMA FV ¹	S320, außen liniert 55/55-1,2 ($t_{Na} = 0,6$ mm), innen liniert 55/55-1,2 ($t_{Ni} = 0,5$ mm)
				S320, außen liniert 55/55-1,2 ($t_{Na} = 0,5$ mm), innen liniert 55/55-1,2 ($t_{Ni} = 0,5$ mm)
FISCHER (F)	PUR	80	Fischer THERM	S350 außen liniert 52/52-1,5 ($t_{Na} = 0,63$ mm), innen liniert 52/52-1,1 ($t_{Ni} = 0,5$ mm)
				S350 außen liniert 52/52-1,5 ($t_{Na} = 0,55$ mm), innen liniert 52/52-1,1 ($t_{Ni} = 0,5$ mm)
		140	Fischer THERM	S350 außen liniert 52/52-1,5 ($t_{Na} = 0,63$ mm), innen liniert 52/52-1,1 ($t_{Ni} = 0,5$ mm)
ARCELOR MITTAL ² (A)	PUR	80	Ondatherm 1003 B	S350, außen gesickt 30/53-1,5 ($t_{Na} = 0,5$ mm), innen gesickt 35/47(53)-3,5 ($t_{Ni} = 0,5$ mm)
		140	Ondatherm 1003 B	S350, außen gesickt 30/53-1,5 ($t_{Na} = 0,5$ mm), innen gesickt 35/47(53)-3,5 ($t_{Ni} = 0,5$ mm)

¹ Die Probekörper wurden aus Elementen mit verdeckter Befestigung (FV) entnommen.

² Abweichend zu den übrigen Versuchen wird der Schraubenkopf an die Innenseite des Elements (Produktionsoberseite) gelegt.

Die Schraubenlängen wurden so festgelegt, dass das Schraubengewinde außerhalb des vom Schraubenkopf abgewandten Deckblechs (unbelastetes Deckblech) lag. Untersuchungen aus [6] zeigten, dass die statische Durchknöpfftragfähigkeit nicht durch das Gewinde beeinflusst wird. Vorversuche ergaben, dass auch während der zyklischen Belastung eine Schädigung des unbelasteten Deckblechs, einhergehend mit einem teilweise auftretenden Durchrutschen des Gewindes, eintritt (s. Bild 5.1). Auf eine Untersuchung dieses zusätzlichen Parameters wurde daher verzichtet.

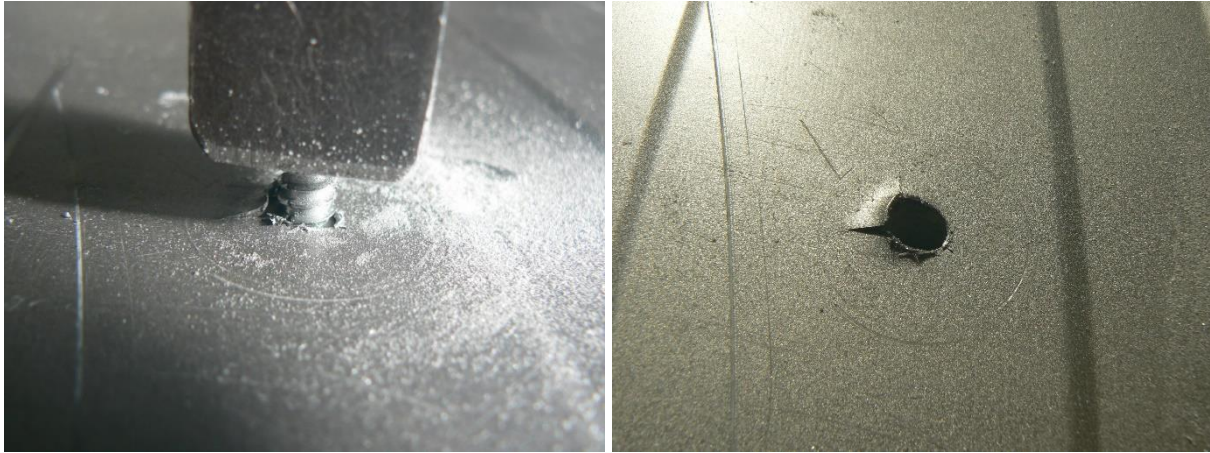


Bild 5.1: Deckblechschädigung durch das Schraubengewinde nach zyklischer Belastung

Um eine lotrechte Ausrichtung des Verbindungsmittels zur Elementoberfläche zu gewährleisten, wurden alle Elemente mit einem Metallbohrer \varnothing 5 mm vorgebohrt.

Bei allen verwendeten Sandwichelementen wurden die Werkstoffparameter (E-Modul, Schubmodul, Zug- und Druckfestigkeit und Rohdichte des Kernwerkstoffes, Dicke und Zugfestigkeit der Deckbleche) nach DIN EN 14509 ermittelt. Diese sind in den nachfolgenden Tabellen aufgelistet.

Tab. 5.3: Werkstoffkennwerte (Mittelwerte) der Kernschicht getrennt nach Hersteller und Typ

	Höhe	Deckblech	Rohdichte	Zugversuch		Druckversuch		Schubversuch	
	h in mm	t _{Na} /t _{Ni} in mm	ρ _k in kg/m ³	f _{Ct} in N/mm ²	E _{Ct} in N/mm ²	f _{Cc} in N/mm ²	E _{Cc} in N/mm ²	f _{Cv} in N/mm ²	G _C in N/mm ²
R	80	0,6/0,5	93,68	0,132	10,33	0,056	6,61	0,061	6,20
		0,5/0,5	98,65	0,146	11,04	0,045	5,23	0,064	7,09
	140	0,6/0,5	99,37	0,144	13,95	0,059	8,04	0,064	7,41
		0,5/0,5	96,88	0,148	12,91	0,057	7,97	0,070	7,50
A	80	0,5/0,5	37,55	0,098	2,93	0,105	3,27	0,148	4,54
	140	0,5/0,5	38,19	0,103	5,11	0,141	4,94	0,130	4,10
F	80	0,63/0,5	39,61	0,126	3,85	0,126	3,87	0,153	3,51
		0,55/0,5	39,16	0,105	3,76	0,112	3,57	0,141	3,51
	140	0,63/0,5	39,55	0,118	3,46	0,122	3,73	0,135	3,51

Tab. 5.4: Statistische Auswertung der Kernwerkstoffe (Zugfestigkeit, Zugmodul)

	Höhe	Deckblech	Mittelwert	5 %-Fraktilwert	Mittelwert	5 %-Fraktilwert
	h in mm	t _{Na} /t _{Ni} in mm	f _{Ct} in N/mm ²	f _{Ctk} in N/mm ²	E _{Ct} in N/mm ²	E _{Ctk} in N/mm ²
ROMA	80	0,6/0,5	0,132	0,096	10,33	7,38
		0,5/0,5	0,146	0,085	11,04	4,83
	140	0,6/0,5	0,144	0,107	13,95	11,42
		0,5/0,5	0,148	0,078	12,91	8,18
ARCELOR	80	0,5/0,5	0,098	0,077	2,93	2,47
	140	0,5/0,5	0,103	0,073	5,11	3,92
FISCHER	80	0,63/0,5	0,126	0,102	3,85	3,42
		0,55/0,5	0,105	0,085	3,76	3,24
	140	0,63/0,5	0,118	0,081	3,46	3,26

Tab. 5.5: Statistische Auswertung der Kernwerkstoffe (Druckfestigkeit, Druckmodul)

	Höhe	Deckblech	Mittelwert	5 %-Fraktilewert	Mittelwert	5 %-Fraktilewert
	h in mm	t _{Na} /t _{Ni} in mm	f _{Cc} in N/mm ²	f _{Cck} in N/mm ²	E _{Cc} in N/mm ²	E _{Cck} in N/mm ²
ROMA	80	0,6/0,5	0,056	0,043	6,61	5,28
		0,5/0,5	0,045	0,031	5,23	3,94
	140	0,6/0,5	0,059	0,043	8,04	4,12
		0,5/0,5	0,057	0,040	7,97	5,96
ARCELOR	80	0,5/0,5	0,105	0,098	3,27	3,03
	140	0,5/0,5	0,141	0,134	4,94	4,64
FISCHER	80	0,63/0,5	0,126	0,119	3,87	3,57
		0,55/0,5	0,112	0,106	3,57	3,38
	140	0,63/0,5	0,122	0,116	3,73	3,55

Tab. 5.6: Statistische Auswertung der Kernwerkstoffe (Schubfestigkeit, Schubmodul)

	Höhe	Deckblech	Mittelwert	5 %-Fraktilewert	Mittelwert	5 %-Fraktilewert
	h in mm	t _{Na} /t _{Ni} in mm	f _{Cv} in N/mm ²	f _{Cvk} in N/mm ²	G _C in N/mm ²	G _{Ck} in N/mm ²
ROMA	80	0,6/0,5	0,061	0,052	6,20	4,65
		0,5/0,5	0,064	0,045	7,09	5,22
	140	0,6/0,5	0,064	0,043	7,41	6,09
		0,5/0,5	0,070	0,064	7,50	6,22
ARCELOR	80	0,5/0,5	0,148	0,120	4,54	4,19
	140	0,5/0,5	0,130	0,120	4,10	3,92
FISCHER	80	0,63/0,5	0,153	0,145	3,51	3,23
		0,55/0,5	0,141	0,125	3,51	3,26
	140	0,63/0,5	0,135	0,126	3,51	3,21

Tab. 5.7: Werkstoffkennwerte (Mittelwerte) der Deckbleche getrennt nach Hersteller und Typ

	Höhe	Deckschicht	Nenn Dicke	Gemessene Dicke	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung
	h in mm						
ROMA	80	Außen	0,6	0,55	404,3	447,9	23,8
		Innen	0,5	0,49	370,3	402,5	25,8
		Außen	0,5	0,49	399,3	420,2	25,1
		Innen	0,5	0,49	384,4	409,0	22,8
	140	Außen	0,6	0,53	356,9	450,7	23,0
		Innen	0,5	0,48	403,3	421,5	23,1
		Außen	0,5	0,48	406,3	419,4	22,0
		Innen	0,5	0,43	401,9	442,4	19,7
ARCELOR	80	Außen	0,5	0,47	404,8	428,7	24,1
		Innen	0,5	0,46	398,8	417,5	24,2
	140	Außen	0,5	0,46	422,5	430,6	21,3
		Innen	0,5	0,46	414,3	426,6	21,2
FISCHER	80	Außen	0,63	0,57	429,6	438,4	23,5
		Innen	0,5	0,44	384,8	434,2	24,8
		Außen	0,55	0,50	416,1	431,6	24,4
		Innen	0,5	0,44	406,0	419,5	23,0
	140	Außen	0,63	0,57	418,3	435,2	25,0
		Innen	0,5	0,44	412,1	457,7	24,5

Die Nennzugfestigkeit f_u der Deckbleche beträgt gemäß DIN EN 10346 390 N/mm² (S320) und 420 N/mm² (S350).

6 Versuchsprogramm

Zur besseren Übersicht wurden die Versuche in neun Versuchsreihen unterteilt. Die Zuordnung erfolgte über eine Kombination aus Sandwichhersteller und Schraubenhersteller (z. B. RE - ROMAKOWSKI/EJOT; FH - FISCHER/HILTI). Das vollständige Versuchsprogramm wird nachfolgend dargestellt. Die angegebene Versuchsanzahl kann unter Umständen von der Anzahl der tatsächlich durchgeführten Versuche (s. Kap. 7) abweichen.

Tab. 6.1: Versuchsprogramm RE – ROMAKOWSKI/EJOT

Pos	Höhe d in mm	Länge l in mm	Breite b in mm	Versuchsart	Befestigungsmittel	Beschreibung	Anzahl	Messung	Bezeichnung der Versuche
RE 1	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dmst_1_1 bis RE_dmst_1_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dmzy_2_1 bis RE_dmzy_2_5
RE 2	80	400	400	Endaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dest_3_1 bis RE_dest_3_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dezy_4_1 bis RE_dezy_4_5
RE 3	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dmst_5_1 bis RE_dmst_5_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dmzy_6_1 bis RE_dmzy_6_5
RE 4	80	400	400	Endaufleger - statisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dest_7_1 bis RE_dest_7_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dezy_8_1 bis RE_dezy_8_5
RE 5	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dmst_9_1 bis RE_dmst_9_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dmzy_10_1 bis RE_dmzy_10_5
RE 6	80	400	400	Endaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dest_11_1 bis RE_dest_11_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dezy_12_1 bis RE_dezy_12_5
RE 7	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dmst_13_1 bis RE_dmst_13_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dmzy_14_1 bis RE_dmzy_14_5
RE 8	80	400	400	Endaufleger - statisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dest_15_1 bis RE_dest_15_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dezy_16_1 bis RE_dezy_16_5
RE 9	140	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x237-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dmst_17_1 bis RE_dmst_17_5
	140	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x237-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dmzy_18_1 bis RE_dmzy_18_5
RE 10	140	400	400	Endaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x237-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dest_19_1 bis RE_dest_19_5
	140	400	400	Endaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x237-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dezy_20_1 bis RE_dezy_20_5
RE 11	140	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-18-5,5x235-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dmst_21_1 bis RE_dmst_21_5
	140	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-18-5,5x235-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dmzy_22_1 bis RE_dmzy_22_5
RE 12	140	400	400	Endaufleger - statisch	JT3-18-5,5x235-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dest_23_1 bis RE_dest_23_5
	140	400	400	Endaufleger - zyklisch	JT3-18-5,5x235-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,6 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RE_dezy_24_1 bis RE_dezy_24_5

Tab. 6.2: Versuchsprogramm RH – ROMAKOWSKI/HILTI

Pos	Höhe d in mm	Länge l in mm	Breite b in mm	Versuchsart	Befestigungsmittel	Beschreibung	Anzahl	Messung	Bezeichnung der Versuche
RH 1	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	S-CD53S 5,5x156 mit Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RH_dmst_1_1 bis RH_dmst_1_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	S-CD53S 5,5x156 mit Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RH_dmzy_2_1 bis RH_dmzy_2_5
RH 2	140	400	400	Mittelaufleger - statisch	S-CD53S 5,5x234 mit Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RH_dmst_3_1 bis RH_dmst_3_5
	140	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	S-CD53S 5,5x234 mit Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RH_dmzy_4_1 bis RH_dmzy_4_5
RH 3	140	400	400	Endaufleger - statisch	S-CD53S 5,5x234 mit Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RH_dest_5_1 bis RH_dest_5_5
	140	400	400	Endaufleger - zyklisch	S-CD53S 5,5x234 mit Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RH_dezy_6_1 bis RH_dezy_6_5
RH 4	140	400	400	Mittelaufleger - statisch	S-CDH53S 5,5x234 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RH_dmst_7_1 bis RH_dmst_7_5
	140	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	S-CDH53S 5,5x234 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RH_dmzy_8_1 bis RH_dmzy_8_5
RH 5	140	400	400	Endaufleger - statisch	S-CDH53S 5,5x234 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RH_dest_9_1 bis RH_dest_9_5
	140	400	400	Endaufleger - zyklisch	S-CDH53S 5,5x234 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,5 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RH_dezy_10_1 bis RH_dezy_10_5

50

Tab. 6.3: Versuchsprogramm RS – ROMAKOWSKI/SFS

Pos	Höhe d in mm	Länge l in mm	Breite b in mm	Versuchsart	Befestigungsmittel	Beschreibung	Anzahl	Messung	Bezeichnung der Versuche
RS 1	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	t _a = 0,6 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dmst_1_1 bis RS_dmst_1_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	t _a = 0,6 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dmzy_2_1 bis RS_dmzy_2_5
RS 2	80	400	400	Endaufleger - statisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	t _a = 0,6 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dest_3_1 bis RS_dest_3_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	t _a = 0,6 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dezy_4_1 bis RS_dezy_4_5
RS 3	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	TDB-S-S16-6,3x178 ohne Stützgewinde	t _a = 0,6 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dmst_5_1 bis RS_dmst_5_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	TDB-S-S16-6,3x178 ohne Stützgewinde	t _a = 0,6 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dmzy_6_1 bis RS_dmzy_6_5
RS 4	80	400	400	Endaufleger - statisch	TDB-S-S16-6,3x178 ohne Stützgewinde	t _a = 0,6 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dest_7_1 bis RS_dest_7_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	TDB-S-S16-6,3x178 ohne Stützgewinde	t _a = 0,6 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dezy_8_1 bis RS_dezy_8_5
RS 5	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dmst_9_1 bis RS_dmst_9_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dmzy_10_1 bis RS_dmzy_10_5
RS 6	80	400	400	Endaufleger - statisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dest_11_1 bis RS_dest_11_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dezy_12_1 bis RS_dezy_12_5
RS 7	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	TDB-S-S16-6,3x178 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dmst_13_1 bis RS_dmst_13_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	TDB-S-S16-6,3x178 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dmzy_14_1 bis RS_dmzy_14_5
RS 8	-----								
RS 9	-----								
RS 9	140	400	400	Mittelaufleger - statisch	TDB-S-S16-6,3x220 ohne Stützgewinde	t _a = 0,6 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dmst_17_1 bis RS_dmst_17_5
	140	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	TDB-S-S16-6,3x220 ohne Stützgewinde	t _a = 0,6 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	RS_dmzy_18_1 bis RS_dmzy_18_5

Tab. 6.4: Versuchsprogramm FE – FISCHER/EJOT

Pos	Höhe d in mm	Länge l in mm	Breite b in mm	Versuchsart	Befestigungsmittel	Beschreibung	Anzahl	Messung	Bezeichnung der Versuche
FE 1	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dmst_1_1 bis FE_dmst_1_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dmzy_2_1 bis FE_dmzy_2_5
FE 2	80	400	400	Endaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dest_3_1 bis FE_dest_3_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dezy_4_1 bis FE_dezy_4_5
FE 3	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dmst_5_1 bis FE_dmst_5_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dmzy_6_1 bis FE_dmzy_6_5
FE 4	80	400	400	Endaufleger - statisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dest_7_1 bis FE_dest_7_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dezy_8_1 bis FE_dezy_8_5
FE 5	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dmst_9_1 bis FE_dmst_9_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dmzy_10_1 bis FE_dmzy_10_5
FE 6	80	400	400	Endaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dest_11_1 bis FE_dest_11_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dezy_12_1 bis FE_dezy_12_5
FE 7	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dmst_13_1 bis FE_dmst_13_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dmzy_14_1 bis FE_dmzy_14_5
FE 8	80	400	400	Endaufleger - statisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dest_15_1 bis FE_dest_15_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	JT3-6-5,5x170-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dezy_16_1 bis FE_dezy_16_5
FE 9	140	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x237-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dmst_17_1 bis FE_dmst_17_5
	140	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x237-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dmzy_18_1 bis FE_dmzy_18_5
FE 10	140	400	400	Endaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x237-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dest_19_1 bis FE_dest_19_5
	140	400	400	Endaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x237-E16 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dezy_20_1 bis FE_dezy_20_5
FE 11	140	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-18-5,5x235-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dmst_21_1 bis FE_dmst_21_5
	140	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-18-5,5x235-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dmzy_22_1 bis FE_dmzy_22_5
FE 12	140	400	400	Endaufleger - statisch	JT3-18-5,5x235-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dest_23_1 bis FE_dest_23_5
	140	400	400	Endaufleger - zyklisch	JT3-18-5,5x235-E16 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FE_dezy_24_1 bis FE_dezy_24_5

Tab. 6.5: Versuchsprogramm FH – FISCHER/HILTI

Pos	Höhe d in mm	Länge l in mm	Breite b in mm	Versuchsart	Befestigungsmittel	Beschreibung	Anzahl	Messung	Bezeichnung der Versuche
FH 1	-----								

FH 2	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	S-CD53S 5,5x156 mit Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dmst_3_1 bis FH_dmst_3_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	S-CD53S 5,5x156 mit Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dmzy_4_1 bis FH_dmzy_4_5
FH 3	80	400	400	Endaufleger - statisch	S-CD53S 5,5x156 mit Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dest_5_1 bis FH_dest_5_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	S-CD53S 5,5x156 mit Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dezy_6_1 bis FH_dezy_6_5
FH 4	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	S-CDH53S 5,5x156 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dmst_7_1 bis FH_dmst_7_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	S-CDH53S 5,5x156 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dmzy_8_1 bis FH_dmzy_8_5
FH 5	80	400	400	Endaufleger - statisch	S-CDH53S 5,5x156 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dest_9_1 bis FH_dest_9_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	S-CDH53S 5,5x156 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,55 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dezy_10_1 bis FH_dezy_10_5
FH 6	140	400	400	Mittelaufleger - statisch	S-CD53S 5,5x234 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dmst_11_1 bis FH_dmst_11_5
	140	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	S-CD53S 5,5x234 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dmzy_12_1 bis FH_dmzy_12_5
FH 7	140	400	400	Endaufleger - statisch	S-CD53S 5,5x234 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dest_13_1 bis FH_dest_13_5
	140	400	400	Endaufleger - zyklisch	S-CD53S 5,5x234 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dezy_14_1 bis FH_dezy_14_5
FH 8	140	400	400	Mittelaufleger - statisch	S-CDH53S 5,5x234 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dmst_15_1 bis FH_dmst_15_5
	140	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	S-CDH53S 5,5x234 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,63 \text{ mm}$, $t_i = 0,5 \text{ mm}$, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FH_dmzy_16_1 bis FH_dmzy_16_5

Tab. 6.6: Versuchsprogramm FS – FISCHER/SFS

Pos	Höhe d in mm	Länge l in mm	Breite b in mm	Versuchsart	Befestigungsmittel	Beschreibung	Anzahl	Messung	Bezeichnung der Versuche
FS 1	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63$ mm, $t_i = 0,5$ mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FS_dmst_1_1 bis FS_dmst_1_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63$ mm, $t_i = 0,5$ mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FS_dmzy_2_1 bis FS_dmzy_2_5
FS 2	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	$t_a = 0,55$ mm, $t_i = 0,5$ mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FS_dmst_3_1 bis FS_dmst_3_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	$t_a = 0,55$ mm, $t_i = 0,5$ mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FS_dmzy_4_1 bis FS_dmzy_4_5
FS 3	80	400	400	Endaufleger - statisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	$t_a = 0,55$ mm, $t_i = 0,5$ mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FS_dest_5_1 bis FS_dest_5_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	$t_a = 0,55$ mm, $t_i = 0,5$ mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FS_dezy_6_1 bis FS_dezy_6_5
FS 4	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	TDB-S-S16-6,3x178 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,55$ mm, $t_i = 0,5$ mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FS_dmst_7_1 bis FS_dmst_7_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	TDB-S-S16-6,3x178 ohne Stützgewinde	$t_a = 0,55$ mm, $t_i = 0,5$ mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FS_dmzy_8_1 bis FS_dmzy_8_5
FS 5	-----								

FS 6	140	400	400	Mittelaufleger - statisch	SXC 5- S16- 5,5x235 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63$ mm, $t_i = 0,5$ mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FS_dmst_11_1 bis FS_dmst_11_5
	140	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	SXC 5- S16- 5,5x235 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63$ mm, $t_i = 0,5$ mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FS_dmzy_12_1 bis FS_dmzy_12_5
FS 7	140	400	400	Endaufleger - statisch	SXC 5- S16- 5,5x235 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63$ mm, $t_i = 0,5$ mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FS_dest_13_1 bis FS_dest_13_5
	140	400	400	Endaufleger - zyklisch	SXC 5- S16- 5,5x235 mit Stützgewinde	$t_a = 0,63$ mm, $t_i = 0,5$ mm, Schraubenkopf außen	5	1 Kraft, 3 Weg	FS_dezy_14_1 bis FS_dezy_14_5

Tab. 6.7: Versuchsprogramm AE – ARCELORMITTAL/EJOT

Pos	Höhe d in mm	Länge l in mm	Breite b in mm	Versuchsart	Befestigungsmittel	Beschreibung	Anzahl	Messung	Bezeichnung der Versuche
AE 1	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AE_dmst_1_1 bis AE_dmst_1_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	JT3-D-6H-5,5/6,3x197-E16 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AE_dmzy_2_1 bis AE_dmzy_2_5

10

Tab. 6.8: Versuchsprogramm AH – ARCELORMITTAL/HILTI

Pos	Höhe d in mm	Länge l in mm	Breite b in mm	Versuchsart	Befestigungsmittel	Beschreibung und Lage	Anzahl	Messung	Bezeichnung der Versuche
AH 1	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	S-CD53S 5,5x156 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AH_dmst_9_1 bis AH_dmst_9_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	S-CD53S 5,5x156 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AH_dmzy_10_1 bis AH_dmzy_10_5
AH 2	80	400	400	Endaufleger - statisch	S-CD53S 5,5x156 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AH_dest_11_1 bis AH_dest_11_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	S-CD53S 5,5x156 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AH_dezy_12_1 bis AH_dezy_12_5
AH 3	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	S-CDH53S 5,5x156 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AH_dmst_13_1 bis AH_dmst_13_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	S-CDH53S 5,5x156 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AH_dmzy_14_1 bis AH_dmzy_14_5
AH 4	80	400	400	Endaufleger - statisch	S-CDH53S 5,5x156 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AH_dest_15_1 bis AH_dest_15_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	S-CDH53S 5,5x156 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AH_dezy_16_1 bis AH_dezy_16_5
AH 5	140	400	400	Mittelaufleger - statisch	S-CD53S 5,5x234 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AH_dmst_21_1 bis AH_dmst_21_5
	140	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	S-CD53S 5,5x234 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AH_dmzy_22_1 bis AH_dmzy_22_5
AH 6	140	400	400	Endaufleger - statisch	S-CD53S 5,5x234 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AH_dest_23_1 bis AH_dest_23_5
	140	400	400	Endaufleger - zyklisch	S-CD53S 5,5x234 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AH_dezy_24_1 bis AH_dezy_24_5

60

Tab. 6.9: Versuchsprogramm AS – ARCELORMITTAL/SFS

Pos	Höhe d in mm	Länge l in mm	Breite b in mm	Versuchsart	Befestigungsmittel	Beschreibung	Anzahl	Messung	Bezeichnung der Versuche
AS 1	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AS_dmst_9_1 bis AS_dmst_9_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AS_dmzy_10_1 bis AS_dmzy_10_5
AS 2	80	400	400	Endaufleger - statisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AS_dest_11_1 bis AS_dest_11_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	SXC 5- S16- 5,5x160 mit Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AS_dezy_12_1 bis AS_dezy_12_5
AS 3	80	400	400	Mittelaufleger - statisch	TDB-S-S16-6,3x178 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AS_dmst_13_1 bis AS_dmst_13_5
	80	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	TDB-S-S16-6,3x178 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AS_dmzy_14_1 bis AS_dmzy_14_5
AS 4	80	400	400	Endaufleger - statisch	TDB-S-S16-6,3x178 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AS_dest_15_1 bis AS_dest_15_5
	80	400	400	Endaufleger - zyklisch	TDB-S-S16-6,3x178 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AS_dezy_16_1 bis AS_dezy_16_5
AS 5	140	400	400	Mittelaufleger - statisch	TDB-S-S16-6,3x220 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AS_dmst_21_1 bis AS_dmst_21_5
	140	400	400	Mittelaufleger - zyklisch	TDB-S-S16-6,3x220 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AS_dmzy_22_1 bis AS_dmzy_22_5
AS 6	140	400	400	Endaufleger - statisch	TDB-S-S16-6,3x220 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AS_dest_23_1 bis AS_dest_23_5
	140	400	400	Endaufleger - zyklisch	TDB-S-S16-6,3x220 ohne Stützgewinde	t _a = 0,5 mm, t _i = 0,5 mm, Schraubenkopf innen	5	1 Kraft, 3 Weg	AS_dezy_24_1 bis AS_dezy_24_5

60

7 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse werden nachfolgend gemäß den Erläuterungen aus Kap. 3.3 und Kap. 4 aufgeführt. Folgende Formelzeichen und Abkürzungen werden verwendet:

t_{Na}/t_{Ni} :	Nennstärke Deckblech außen/innen nach Herstellerangaben
$t_{a,obs}/t_{i,obs}$:	Mittlere gemessene Deckblechdicke außen/innen
w_{max} :	Gemessene Deckblecheindrückung am Schraubenkopf
F_{obs} :	Versuchsergebnisse
k_1 :	Faktor zur Anpassung der Versuchsergebnisse an die Nennblechdicke und Nennzugfestigkeit gemäß Herstellerangaben; $k_1 = (f_u/f_{u,obs}) \cdot (t_N/t_{obs}) \leq 1,0$
F_{adj} :	Angepasste Versuchsergebnisse $k_1 \cdot F_{obs}$
f_u :	Nennzugfestigkeit der Deckbleche nach DIN EN 10346
$f_{u,obs}$:	Mittlere gemessene Zugfestigkeit
k :	Lastfaktor zur Festlegung der Oberlast
$F_{Rt,stat}$:	Mittelwert der Einzelmessungen F_{obs} aus statischer Belastung
$F_{Rt,dyn}$:	Mittelwert der Einzelmessungen F_{obs} aus dem Auszugversuch nach zyklischer Belastung mit 5000 Lastspielen
F_o :	Oberlast für die zyklische Belastung, $F_o = k \cdot F_{Rt,stat}$
F_u :	Unterlast für die zyklische Belastung, $F_u = 0,1 \cdot F_o$
LW:	Lastwechsel

Die statistische Auswertung (Standardabweichung, 5 %-Fraktilewert) erfolgte unter Ansatz einer logarithmischen Normalverteilung gemäß DIN EN 14509, Kap A.16.3.

7.1 RE – ROMAKOWSKI/EJOT

Es folgt die Darstellung der Versuchsergebnisse aus der Kombination des Elementherstellers ROMAKOWSKI (Mineralwolle) mit dem Schraubenhersteller EJOT getrennt nach Versuchen am Mittelaufleger und Endaufleger.

7.1.1 Mittelaufleger

Alle Versuchskörper dieser Versuchsreihe versagten aufgrund von Durchknöpfen des Schraubenkopfes mitsamt der Unterlegscheibe durch das Deckblech. Bei nahezu allen Versuchskörpern trat zuvor eine Knitterfalte im Deckblech auf, die häufig mit einer Delamination des Deckblechs vom Kern einherging. Das Durchknöpfen trat in der Regel bei großen Deformationen auf. Der Großteil dieser Verformungen stellte sich erst nach dem Auftreten der Knitterfalte bei vergleichsweise geringem Lastzuwachs ein (siehe Kraft-Verformungsverläufe auf den Folgeseiten). Ein ähnliches Bild zeigte sich bei den Auszugversuchen im Anschluss an die zyklische Belastung, wobei die Verformung bis zum Knittern und zum Versagen insgesamt kleiner ausfiel. Die zyklische Belastung bewirkte eine deutliche Schädigung der Mineralwolle, wie nach stichprobenartiger Entfernung der Deckbleche ersichtlich wurde. In einem Radius von ca. 7 cm um die Schraube besaß die Mineralwolle nur noch eine geringe Reststeifigkeit und konnte leicht per Hand eingedrückt werden. Bei einigen Versuchen trat bei der zyklischen Belastung ein ca. 2 – 3 cm langer Riss entlang des Sickensteigs auf (s. Bild 7.3). Ferner trat bei allen Versuchen ein Durchschlagen der konisch geformten Unterlegscheibe bei geringer Last auf.

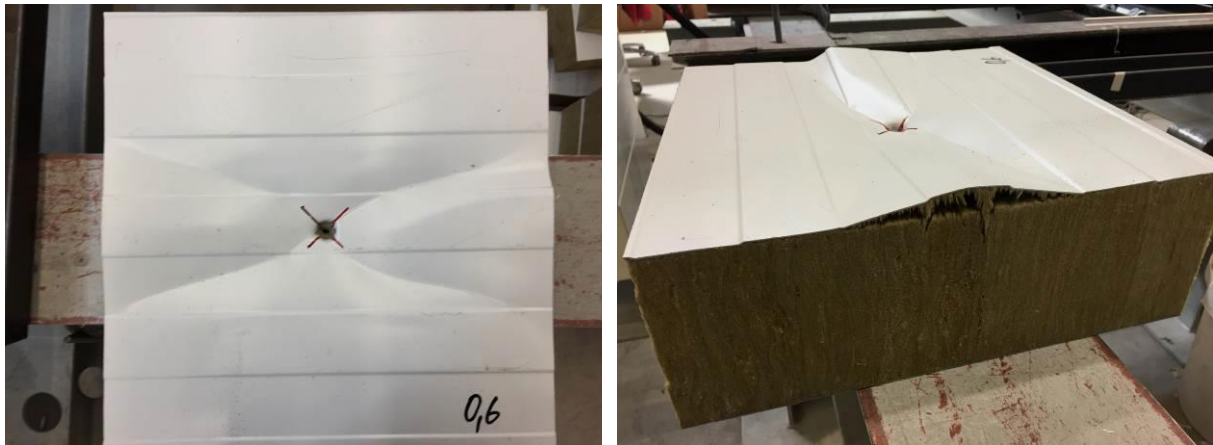


Bild 7.1: Knitterfalte und Delamination nach dem Durchknöpfen des Deckblechs

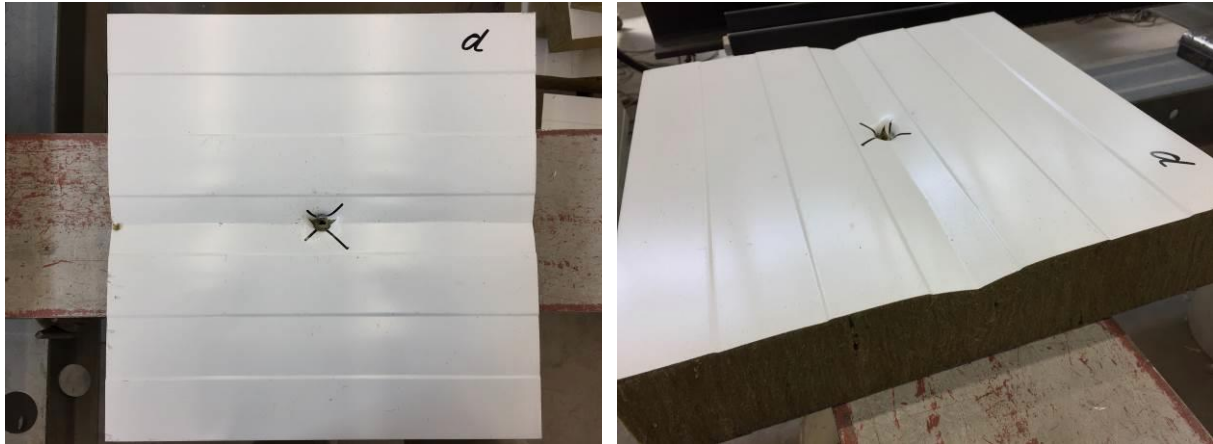


Bild 7.2: Knitterfalte ohne Delamination nach dem Durchknöpfen des Deckblechs

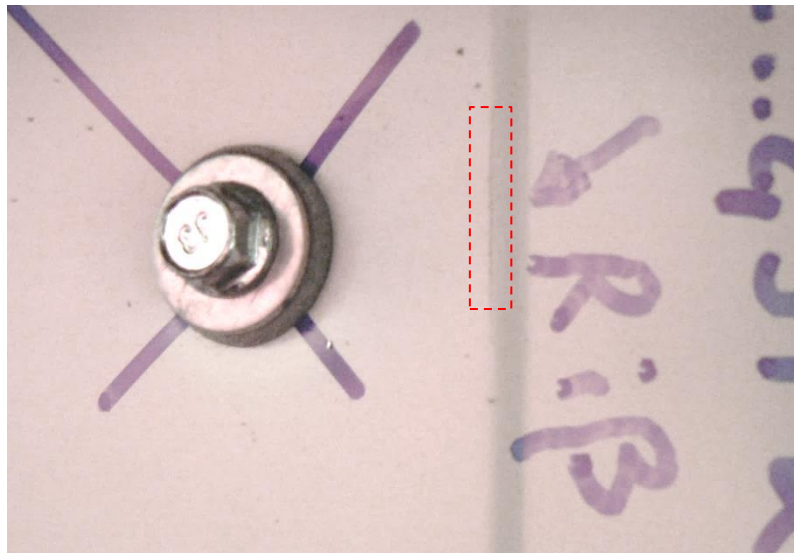


Bild 7.3: Anriss im Steg neben der Schraube

RE 1:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RE_dmst_1_1	48,76	4,24	4,03	0,55	0,49	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmst_1_2	59,78	4,66	4,43			
RE_dmst_1_3	60,67	4,07	3,87			
RE_dmst_1_4	66,86	5,41	5,13			
RE_dmst_1_5	54,17	4,24	4,03			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,52	4,30			
Standardabw.:	$s =$	0,11	0,11			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,40	3,23			

Belastung	zykl., n = 5000, 5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RE_dmzy_2_1	0,5	2,26	0,23	14,55	3,39	3,22	Knittern, anschließend Durchknöpfen
RE_dmzy_2_2				7,74	3,28	3,11	2 cm Riss am Sickensteg, anschließend Durchknöpfen
RE_dmzy_2_3				19,92	3,76	3,57	Knittern, anschließend Durchknöpfen
RE_dmzy_2_4				28,45	3,56	3,39	
RE_dmzy_2_5 ¹				11,92	2,85	2,71	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,37	3,20		
Standardabweichung:			$s =$	0,10	0,10		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	2,59	2,46		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,94			

¹ Grenzlast um 3 % unterschritten, jedoch im Mittel deutlich eingehalten.

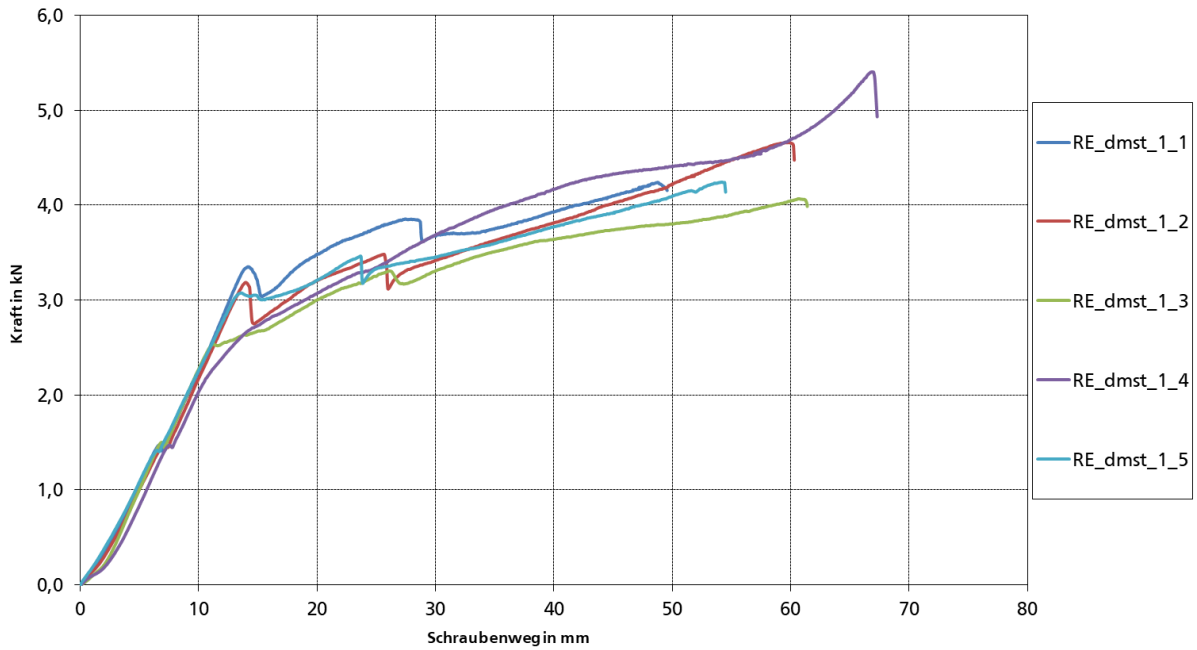


Bild 7.4: statische Auszugversuche

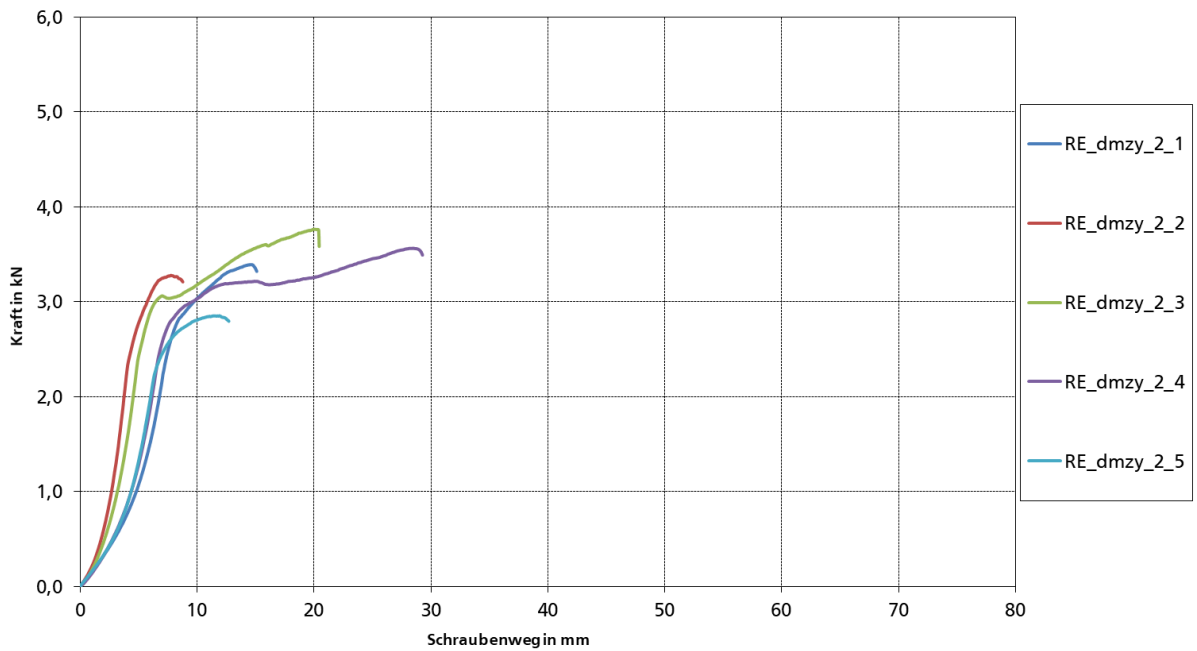


Bild 7.5: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RE 3:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RE_dmst_5_1	41,12	3,90	3,71	0,55	0,49	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmst_5_2	60,44	4,48	4,26			
RE_dmst_5_3	62,88	4,81	4,57			
RE_dmst_5_4	58,95	4,89	4,65			
RE_dmst_5_5	67,59	5,02	4,77			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,62	4,39			
Standardabw.:	$s =$	0,10	0,10			
5 %-Fraktil.:	$F_{Rtk} =$	3,59	3,41			

Belastung	zykl., $n = 5000, 5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RE_dmzy_6_1	0,5	2,31	0,23	1,95	4,59	4,36	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmzy_6_2				1,79	4,11	3,90	3 cm Riss am Sickensteg bei zykl. Belastung
RE_dmzy_6_3				1,74	4,38	4,16	3,5 cm Riss am Sickensteg bei zykl. Belastung
RE_dmzy_6_4				2,27	3,90	3,70	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmzy_6_5				-	-	-	Knittern nach 1800 LW, Durchknöpfen nach 3200 LW
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	4,24	4,03		
Standardabweichung:			$s =$	0,07	0,07		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	3,50	3,32		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	3,00			

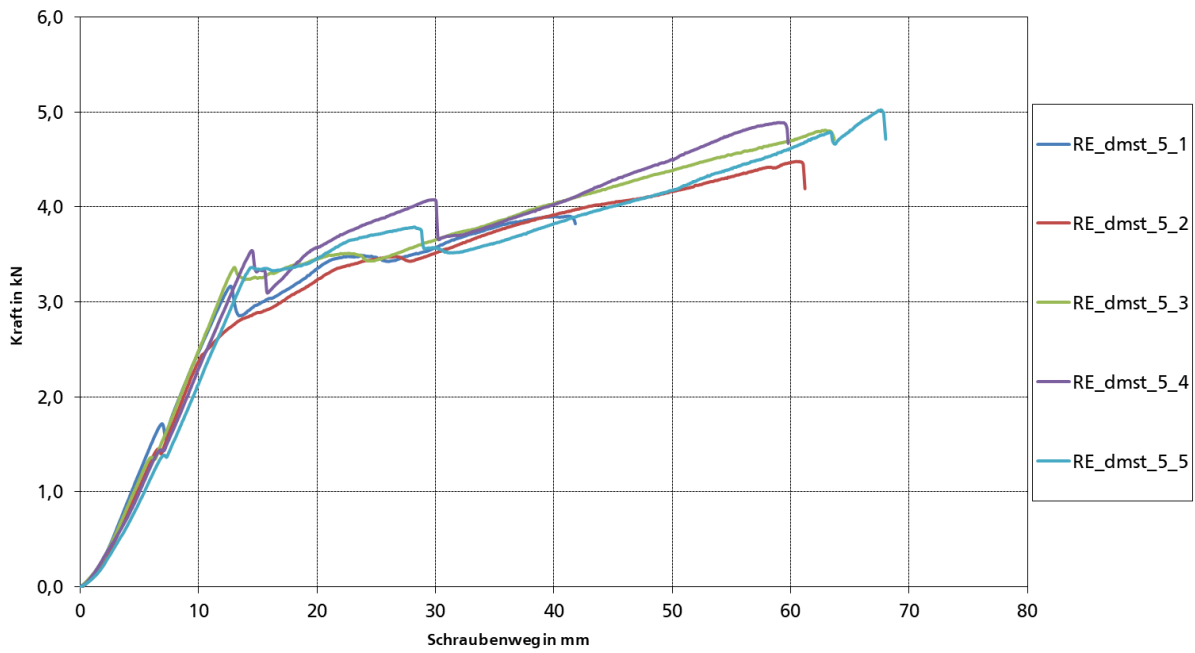


Bild 7.6: statische Auszugversuche

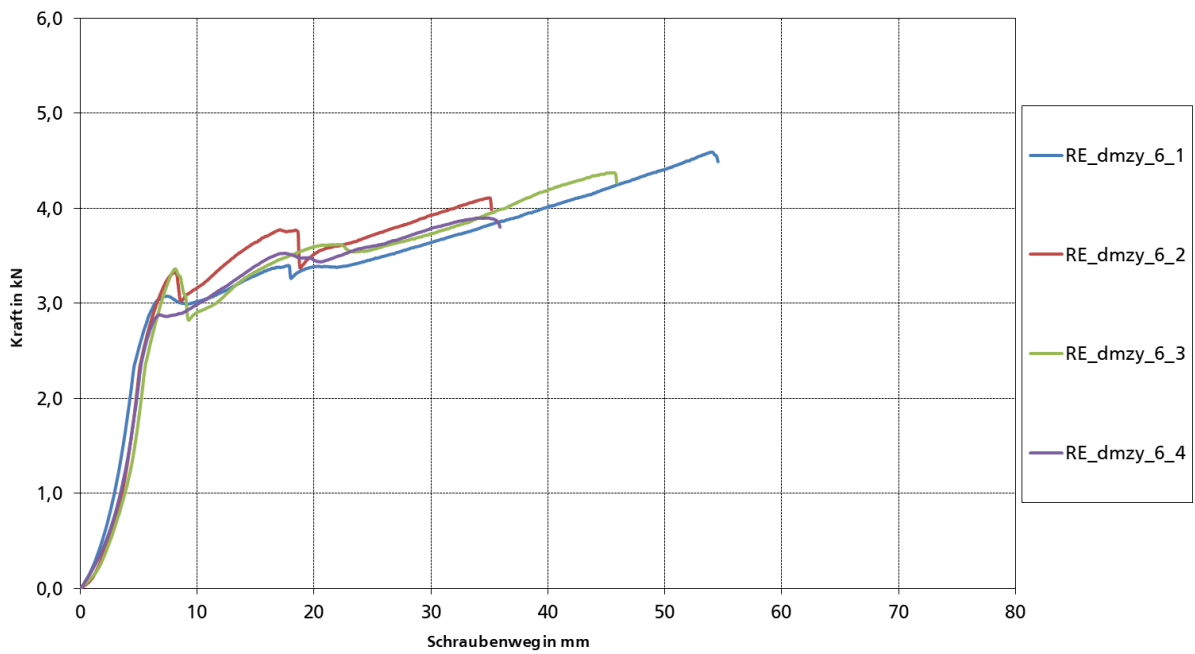


Bild 7.7: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RE 5:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RE_dmst_9_1	15,94	3,32	3,14	0,49	0,49	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmst_9_2	54,01	3,77	3,57			
RE_dmst_9_3	24,67	3,29	3,11			
RE_dmst_9_4	37,38	3,55	3,36			
RE_dmst_9_5	29,92	3,19	3,02			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,42	3,24			
Standardabw.:	$s =$	0,07	0,07			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,89	2,74			

Belastung	zykl., n = 5000, 5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RE_dmzy_10_1	0,5	1,71	0,17	10,54	3,19	3,02	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmzy_10_2				30,86	3,28	3,11	
RE_dmzy_10_3				17,67	3,27	3,10	
RE_dmzy_10_4				23,06	3,27	3,10	
RE_dmzy_10_5				9,09	3,19	3,02	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,24	3,07		
Standardabweichung:			$s =$	0,01	0,01		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	3,13	2,96		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,22			

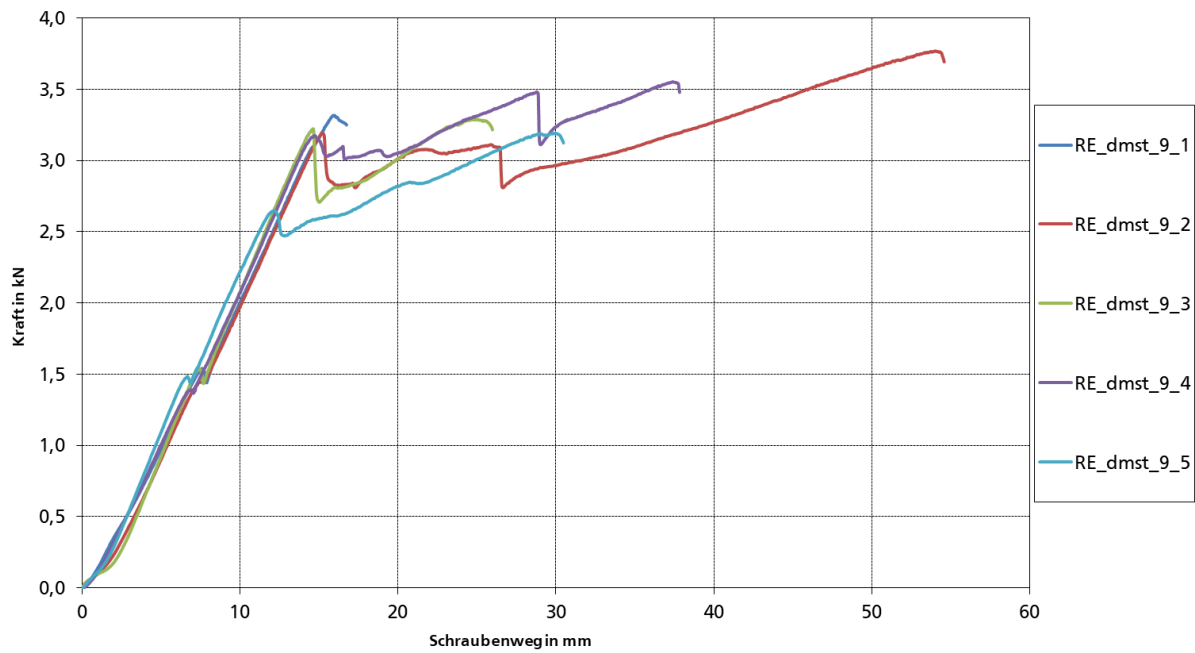


Bild 7.8: statische Auszugversuche

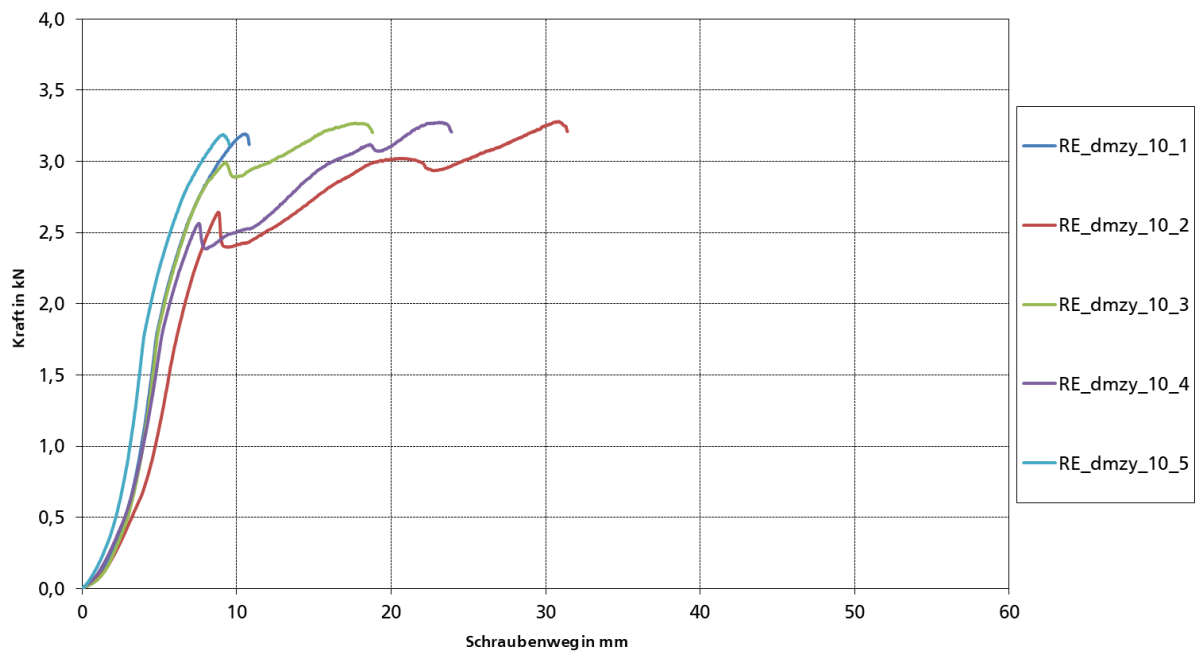


Bild 7.9: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RE 7:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RE_dmst_13_1	29,28	3,98	3,77	0,49	0,49	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmst_13_2	24,66	3,47	3,28			
RE_dmst_13_3	32,31	3,31	3,13			
RE_dmst_13_4	28,20	3,44	3,26			
RE_dmst_13_5	27,95	3,88	3,68			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,62	3,43			
Standardabw.:	$s =$	0,08	0,08			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,95	2,80			

Belastung	zykl., n = 5000, 5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RE_dmzy_14_1	0,5	1,81	0,18	21,48	3,59	3,40	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmzy_14_2				42,27	3,85	3,64	
RE_dmzy_14_3				38,43	3,73	3,53	
RE_dmzy_14_4				35,39	3,55	3,37	
RE_dmzy_14_5				18,78	3,28	3,10	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,60	3,41		
Standardabweichung:			$s =$	0,06	0,06		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	3,10	2,93		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,35			

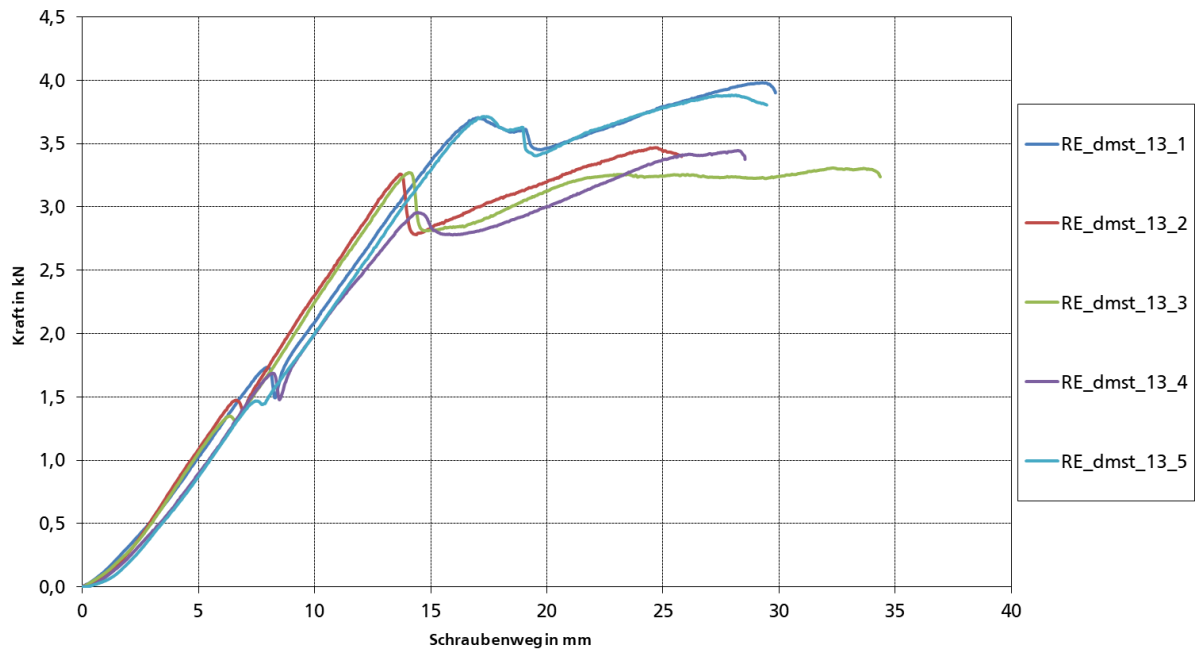


Bild 7.10: statische Auszugversuche

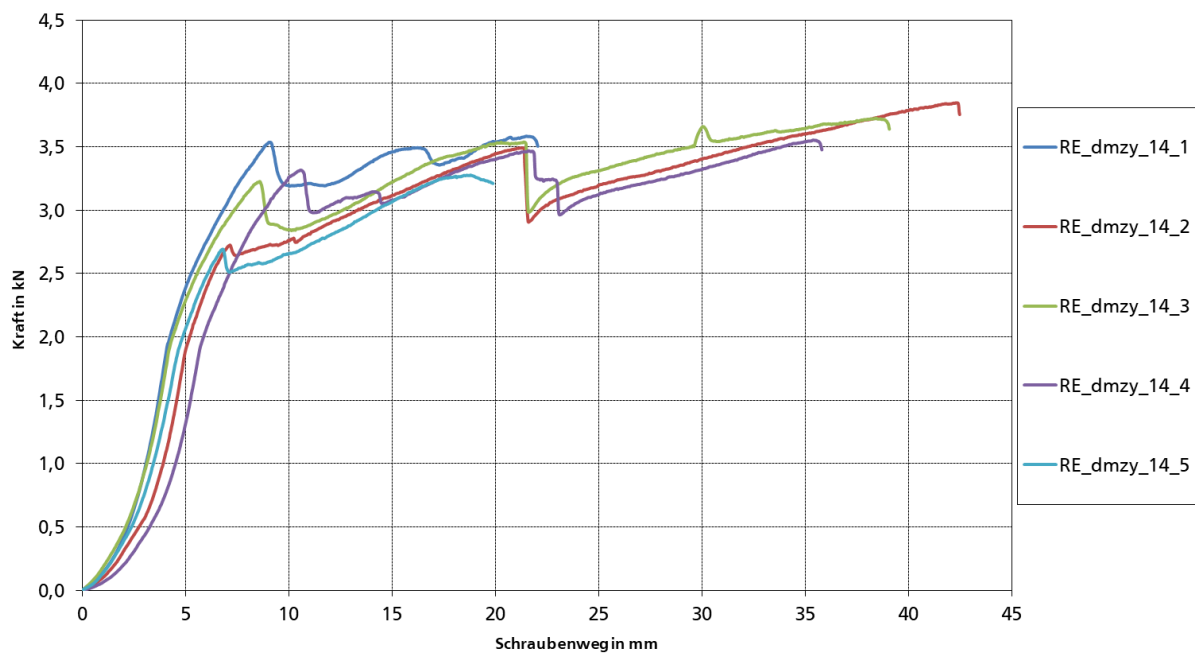


Bild 7.11: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RE 9:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RE_dmst_17_1	24,81	3,92	3,84	0,53	0,48	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmst_17_2	18,43	3,73	3,65			
RE_dmst_17_3	49,17	4,26	4,18			
RE_dmst_17_4	16,73	3,87	3,79			
RE_dmst_17_5	35,05	4,11	4,03			Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,98	3,90			
Standardabw.:	$s =$	0,05	0,05			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,49	3,42			

Belastung	zykl., n = 5000, 5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RE_dmzy_18_1	0,5	1,99	0,20	32,89	3,92	3,84	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmzy_18_2				9,49	3,72	3,65	
RE_dmzy_18_3				26,16	3,52	3,45	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmzy_18_4				8,40	3,32	3,26	
RE_dmzy_18_5				20,26	3,67	3,59	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
Mittelwert:	$F_{Rt,dyn} =$			3,63	3,56		
Standardabweichung:	$s =$			0,06	0,06		
5 %-Fraktilwert:	$F_{Rtk,dyn} =$			3,11	3,05		
Grenzwert Resttragfähigkeit:	$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$			2,59			

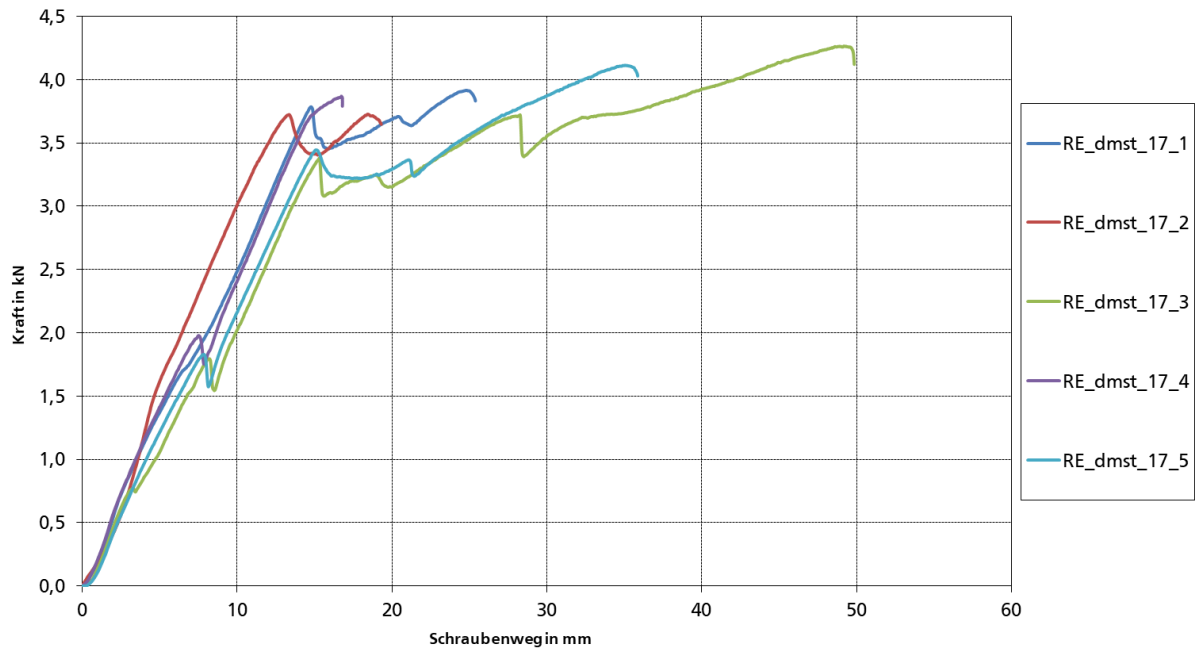


Bild 7.12: statische Auszugversuche

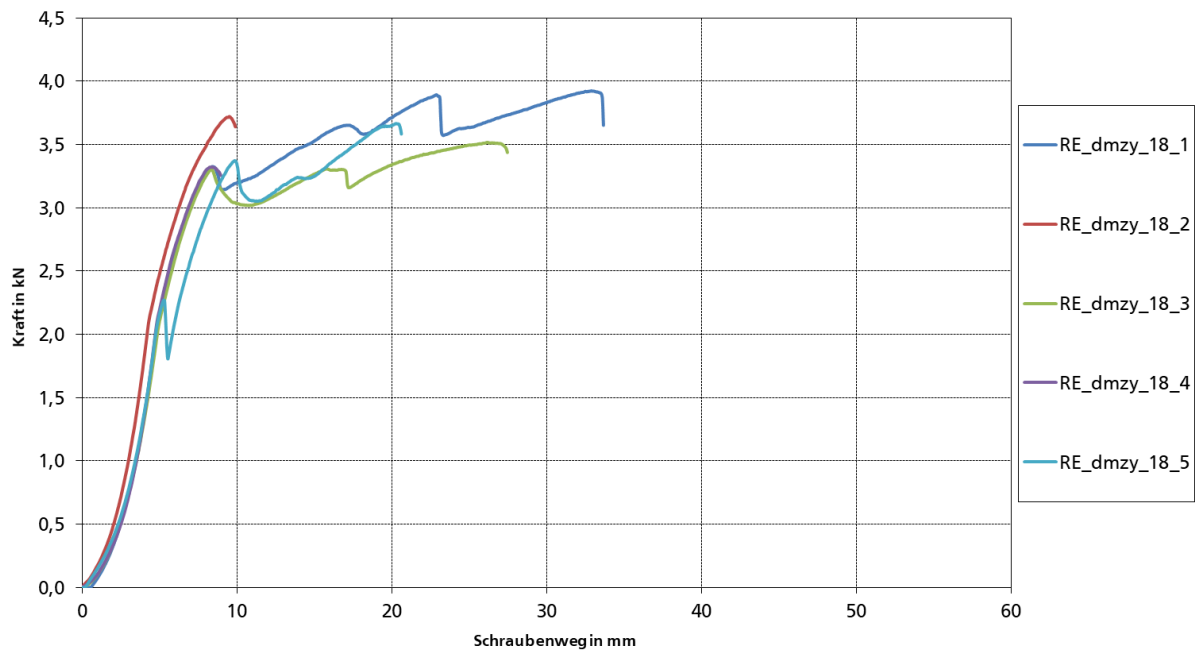


Bild 7.13: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RE 11:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RE_dmst_21_1	28,30	3,85	3,77	0,53	0,48	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmst_21_2	17,02	3,87	3,79			
RE_dmst_21_3	32,38	4,13	4,05			Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmst_21_4	48,20	4,07	3,98			
RE_dmst_21_5	48,64	4,26	4,17			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,03	3,95			
Standardabw.:	$s =$	0,04	0,04			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,62	3,55			

Belastung	zykl., $n = 5000, 5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RE_dmzy_22_1	0,5	2,02	0,20	19,55	3,77	3,69	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmzy_22_2				26,44	4,03	3,95	
RE_dmzy_22_3				9,48	3,48	3,40	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RE_dmzy_22_4				18,73	3,78	3,70	
RE_dmzy_22_5				32,02	4,15	4,06	
Mittelwert:	$F_{Rt,dyn} =$			3,84	3,76		
Standardabweichung:	$s =$			0,07	0,07		
5 %-Fraktilwert:	$F_{Rtk,dyn} =$			3,24	3,17		
Grenzwert Resttragfähigkeit:	$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$			2,62			

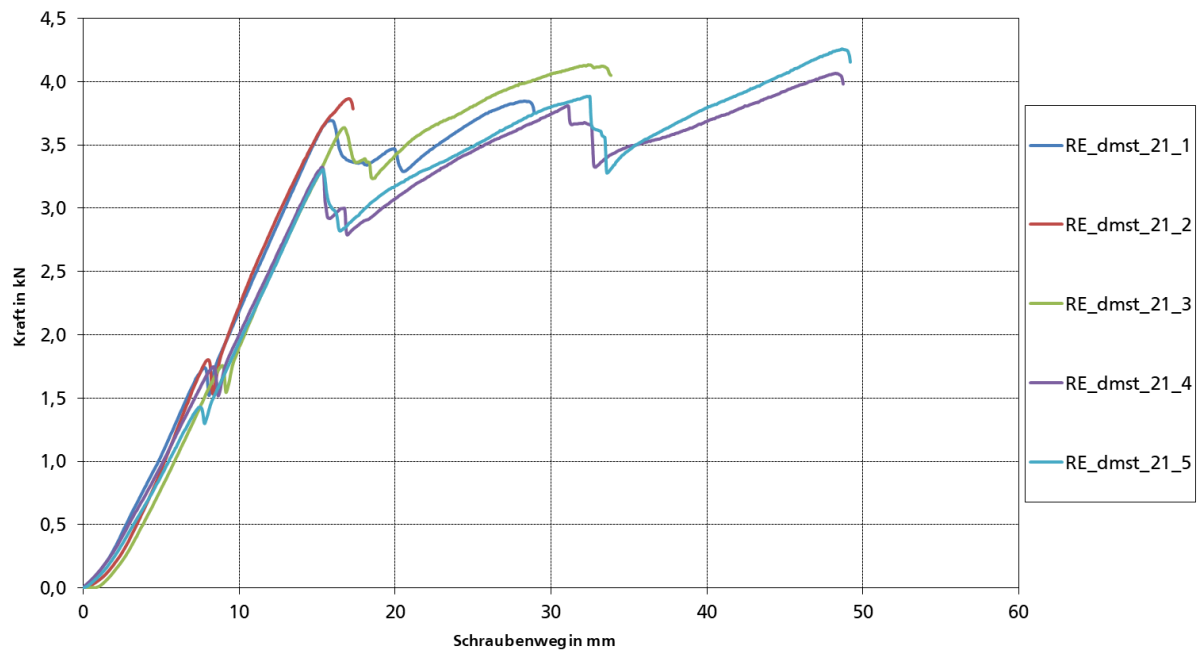


Bild 7.14: statische Auszugversuche

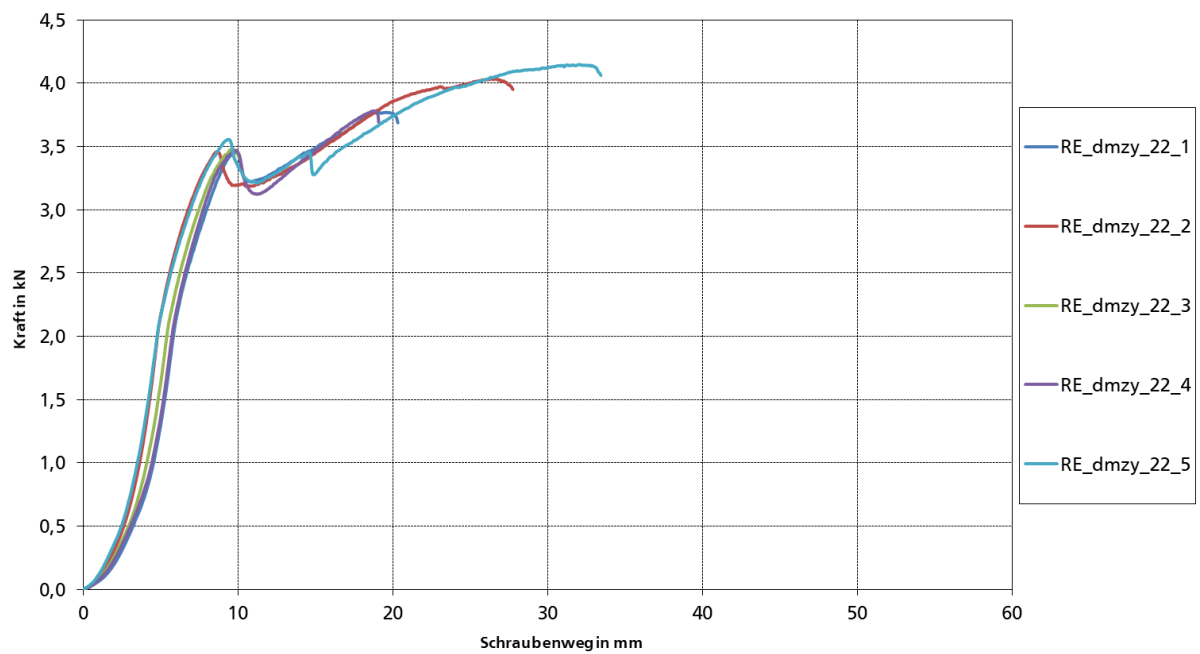


Bild 7.15: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.1.2 Endauflager

Die Versuche wurden mit einem Randabstand von 20 mm durchgeführt. Das Versagen in den Auszugversuchen erfolgte durch Durchknöpfen des Schraubenkopfes mitsamt der Unterlegscheibe, einhergehend mit einem vollständigen Durchreißen des Blechs in Richtung der Elementkante. Vor dem Versagen traten häufig Knitterfalten im beanspruchten Deckblech auf. In einigen Versuchen entstand aufgrund der großen Deformationen des auskragenden Elements ein Knick entlang der Auflagerkante des unbelasteten Deckblechs. Ebenso löste sich dabei das unbelastete Deckblech vom Mineralwollekern.

In der ersten Versuchsreihe (RE 2) traten bei zwei Versuchen Risse im Deckblech während der zyklischen Beanspruchung auf, jedoch kein vorzeitiges Durchknöpfen. Die erforderliche Grenzlast wurde knapp erreicht. Die Schraube lag bei beiden Versuchen in einer Hochsicke der Linierung. Die übrigen drei Versuche dieser Reihe knöpften trotz Reduktion der Oberlast während der zyklischen Beanspruchung durch. Die Schrauben lagen hierbei jeweils in einer Tiefsicke der Linierung. In den weiteren Versuchsreihen wurde die Oberlast daher auf $0,35 F_{Rt,stat}$ reduziert.

Bei den Versuchen mit zyklischer Belastung trat eine starke Schädigung der Mineralwolle an der Elementkante auf. Auffällig ist, dass die Schraubenlage in einer Hochsicke bei einigen Versuchsreihen größere Resttragfähigkeiten ergab als in einer Tiefsicke bzw. im Übergang zwischen zwei Sicken. Zudem neigten die Elemente in der Tiefsicke eher zum vorzeitigen Versagen während der zyklischen Beanspruchung (siehe RE 2 bzw. RE 4).



Bild 7.16: Durchknöpfen am Elementrand



Bild 7.17: Ablösung des unbelasteten Deckblechs bei großen Verformungen



Bild 7.18: Knitterfalte im belasteten Deckblech (links), Riss am Sickensteg (rechts)

RE 2:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RE_dest_3_1	51,23	3,44	3,27	0,55	0,49	Delamination des inneren Deckblechs, teilweise Knitterfalte im äußeren Deckblech, Versagen durch Durchknöpfen
RE_dest_3_2	54,71	3,62	3,44			
RE_dest_3_3	53,48	3,85	3,65			
RE_dest_3_4	51,73	2,92	2,77			
RE_dest_3_5	41,43	3,04	2,89			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,37	3,20			
Standardabw.:	$s =$	0,12	0,12			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,52	2,39			

Belastung	zykl., $n = 5000, 2,5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RE_dezy_4_1	0,50	1,69	0,17	18,88	2,33	2,22	Riss im Deckblech während zyklischer Belastung, Schraube liegt in Hochsicke
RE_dezy_4_2				28,01	2,16	2,05	
RE_dezy_4_3				-	-	-	Durchknöpfen nach 4900 LW, Schraube in Tiefsicke
RE_dezy_4_4	0,45	1,52	0,15	-	-	-	Durchknöpfen nach 3200 LW, Schraube in Tiefsicke
RE_dezy_4_5	0,40	1,35	0,13	-	-	-	Durchknöpfen nach 3900 LW, Schraube in Tiefsicke
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$		2,25	2,14	(für $k = 0,5$)
Standardabweichung:			$s =$		-	-	
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$		-	-	
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$		2,19		

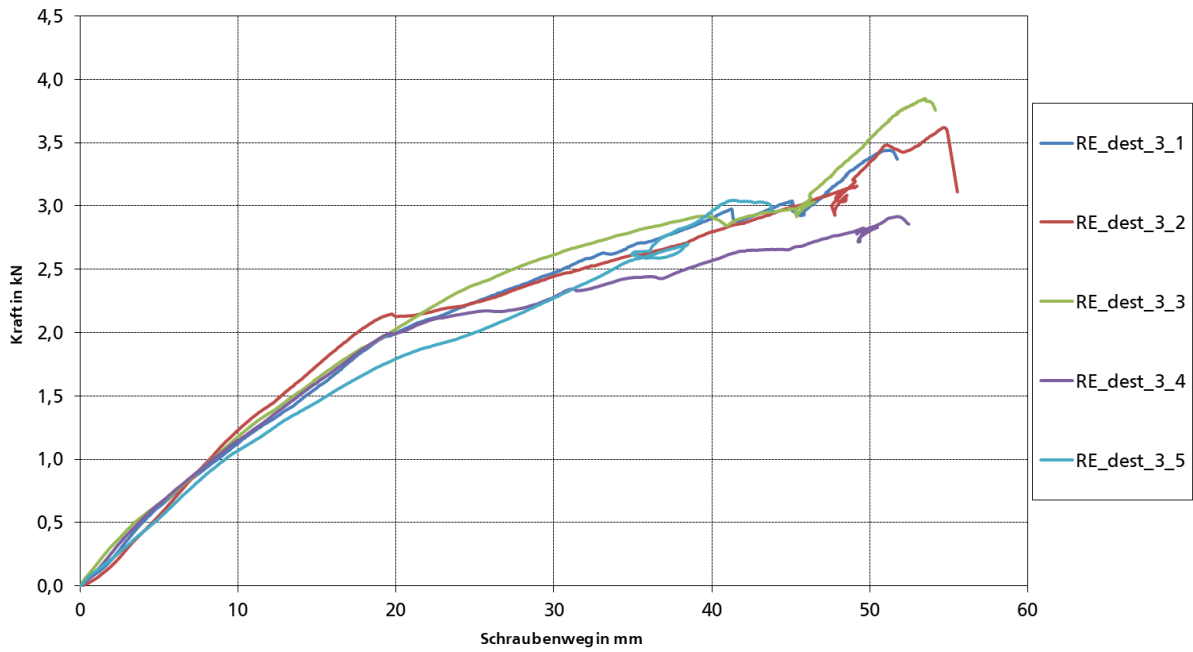


Bild 7.19: statische Auszugversuche

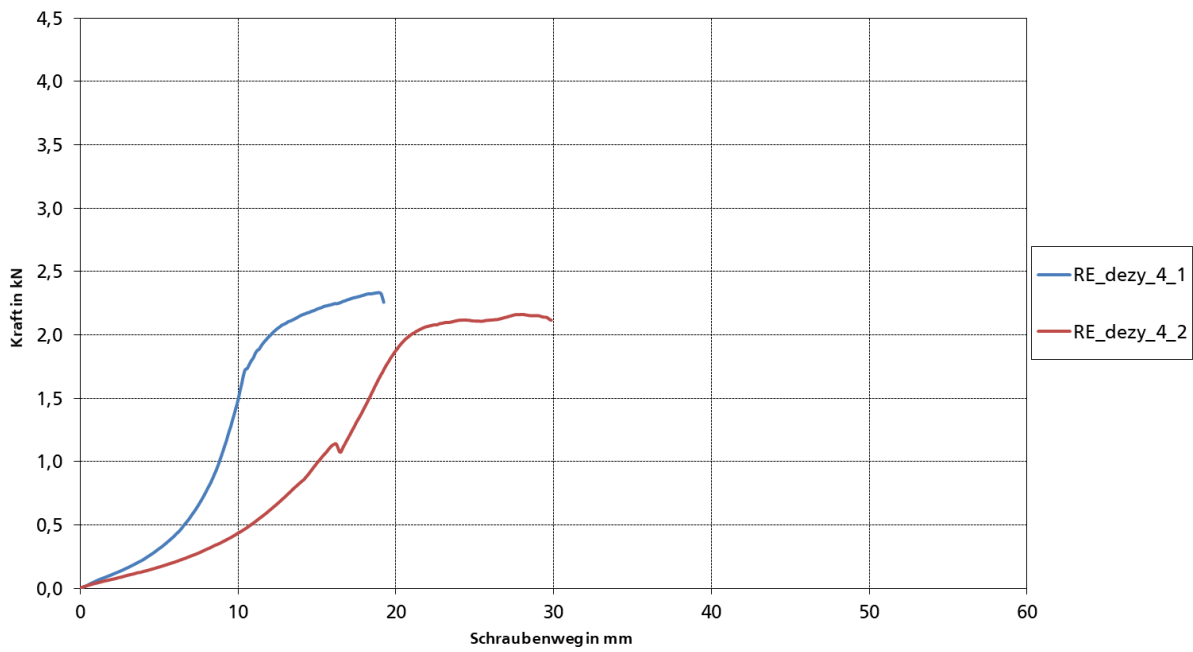


Bild 7.20: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RE 4:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RE_dest_7_1	46,43	2,95	2,80	0,55	0,49	Delamination des inneren Deckblechs, teilweise Knitterfalte im äußeren Deckblech, Versagen durch Durchknöpfen
RE_dest_7_2	48,72	2,71	2,57			
RE_dest_7_3	50,97	3,10	2,94			
RE_dest_7_4	41,90	3,22	3,06			
RE_dest_7_5	54,08	3,33	3,16			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,06	2,91			
Standardabw.:	$s =$	0,08	0,08			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,50	2,38			

Belastung	zykl., $n = 5000, 2,5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RE_dezy_8_1	0,5	1,53	0,15	-	-	-	Durchknöpfen nach 3070 LW, Schraube in Tiefsicke
RE_dezy_8_2	0,35	1,07	0,11	31,35	2,39	2,27	Schraube in Hochsicke
RE_dezy_8_3				14,45	1,65	1,57	Schraube in Tiefsicke
RE_dezy_8_4				13,64	1,48	1,40	Schraube in Tiefsicke
RE_dezy_8_5				32,34	2,44	2,32	Schraube in Hochsicke
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$		1,99	1,89	
Standardabweichung:			$s =$		0,26	0,26	
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$		0,97	0,93	
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$		1,39		(für $k = 0,35$)

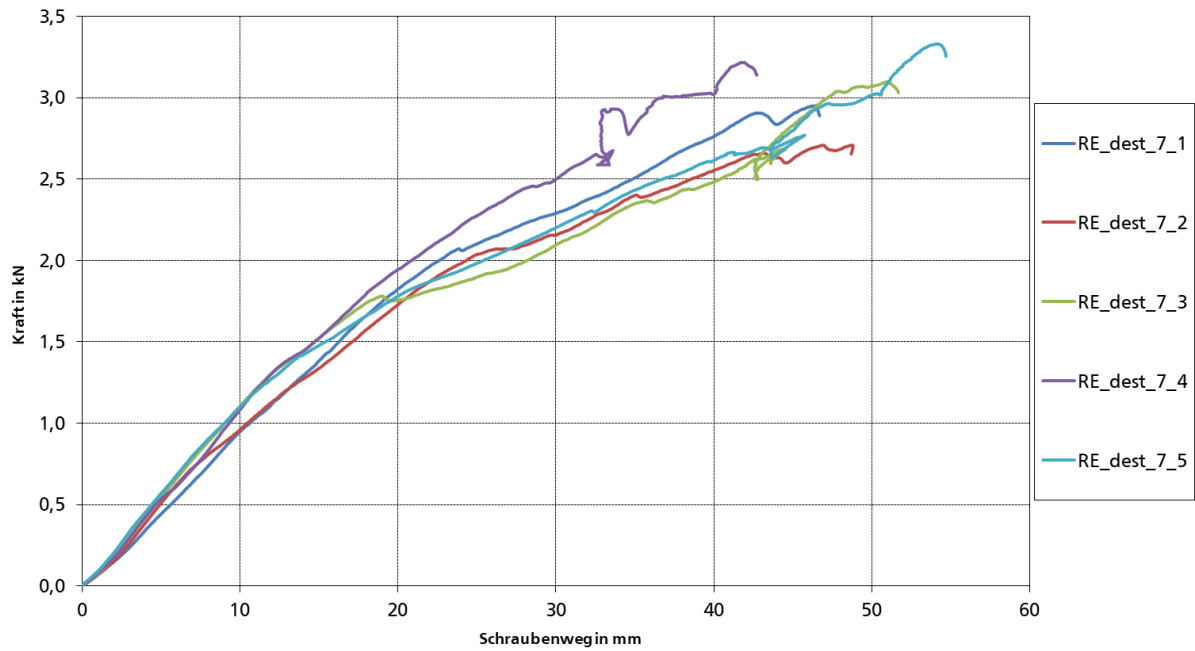


Bild 7.21: statische Auszugversuche

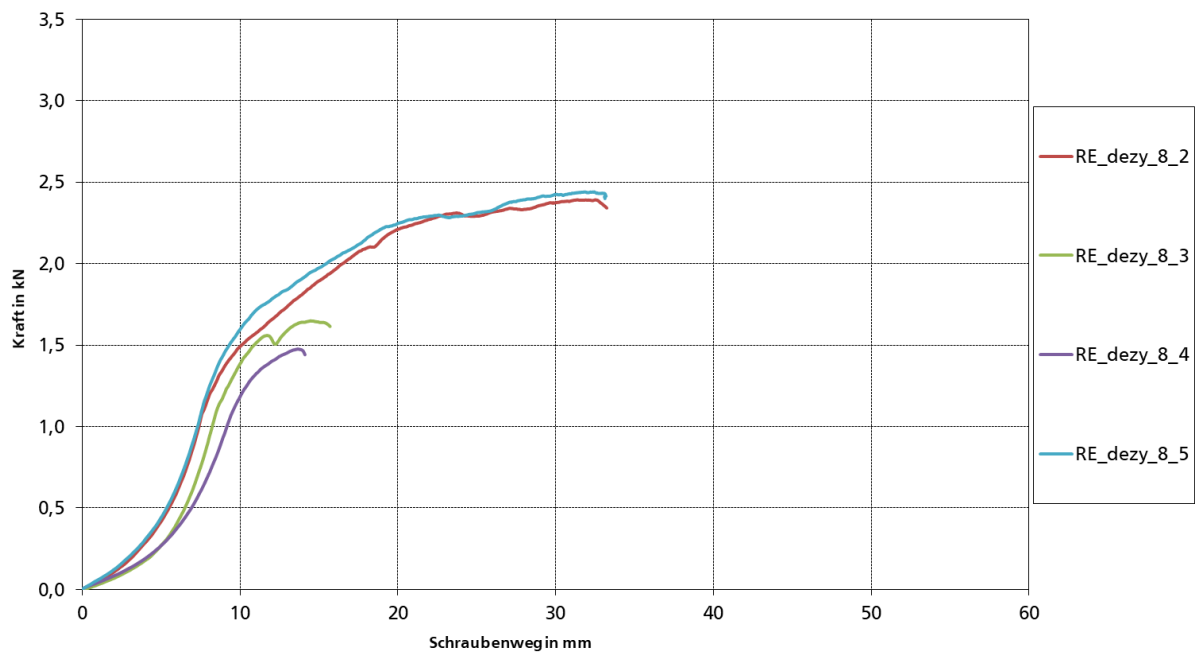


Bild 7.22: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RE 6:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RE_dest_11_1	48,65	3,16	2,99	0,49	0,49	Delamination des inneren Deckblechs, teilweise Knitterfalte im äußeren Deckblech, Versagen durch Durchknöpfen
RE_dest_11_2	50,71	2,96	2,80			
RE_dest_11_3	58,23	3,05	2,88			
RE_dest_11_4	53,12	2,70	2,56			
RE_dest_11_5	48,96	2,82	2,67			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	2,94	2,78			
Standardabw.:	$s =$	0,06	0,06			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,52	2,39			

Belastung	zykl., $n = 5000, 2,5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RE_dezy_12_1	0,35	1,03	0,10	22,31	1,87	1,77	Schraube in Tiefsicke
RE_dezy_12_2				13,80	1,66	1,57	
RE_dezy_12_3				13,22	1,84	1,74	Schraube in Hochsicke
RE_dezy_12_4				22,49	1,80	1,70	Schraube in Tiefsicke
RE_dezy_12_5				30,64	2,28	2,16	
Mittelwert:	$F_{Rt,dyn} =$			1,89	1,79		
Standardabweichung:	$s =$			0,12	0,12		
5 %-Fraktilwert:	$F_{Rtk,dyn} =$			1,41	1,33		
Grenzwert Resttragfähigkeit:	$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$			1,34			

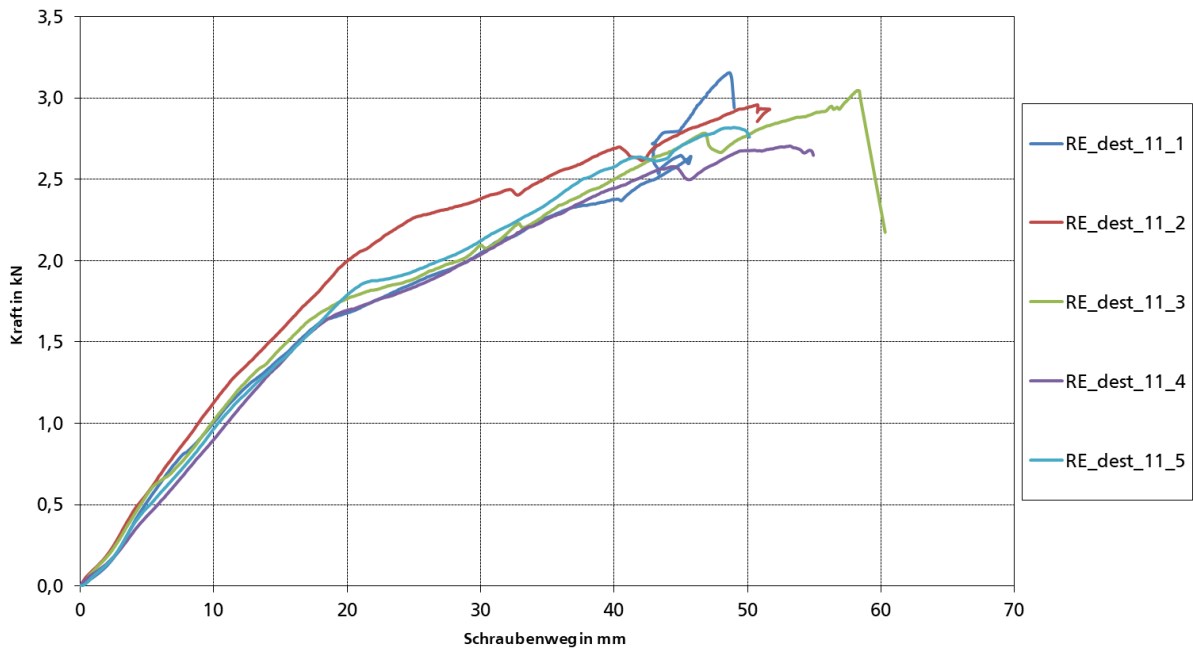


Bild 7.23: statische Auszugversuche

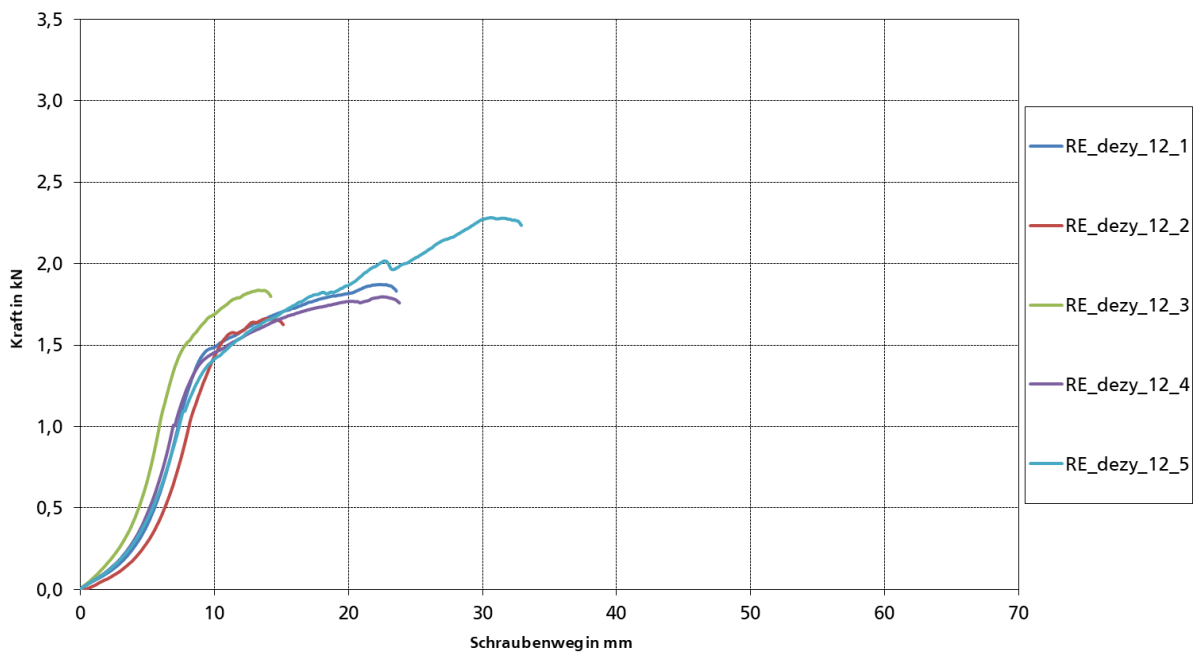


Bild 7.24: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RE 8:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RE_dest_15_1	49,83	2,93	2,77	0,49	0,49	Delamination des inneren Deckblechs, teilweise Knitterfalte im äußeren Deckblech, Versagen durch Durchknöpfen
RE_dest_15_2	49,66	2,83	2,68			
RE_dest_15_3	51,83	2,92	2,76			
RE_dest_15_4	53,87	2,83	2,68			
RE_dest_15_5	52,68	2,83	2,68			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	2,87	2,72			
Standardabw.:	$s =$	0,02	0,02			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,75	2,61			

Belastung	zykl., $n = 5000, 2,5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RE_dezy_16_1	0,35	1,00	0,10	15,25	1,69	1,60	Schraube in Tiefsicke
RE_dezy_16_2				27,61	2,01	1,91	
RE_dezy_16_3				32,95	2,21	2,09	
RE_dezy_16_4				23,20	2,01	1,90	
RE_dezy_16_5				29,91	2,16	2,04	Schraube in Hochsicke
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	2,02	1,91		
Standardabweichung:			$s =$	0,10	0,10		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	1,56	1,47		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	1,30			

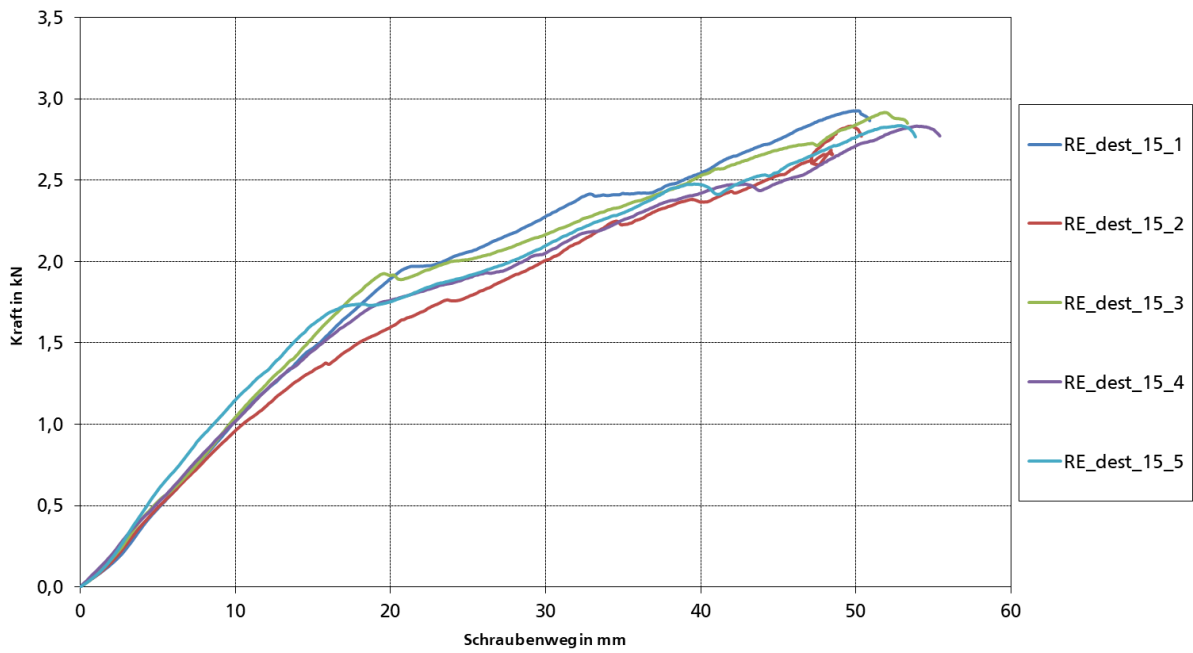


Bild 7.25: statische Auszugversuche

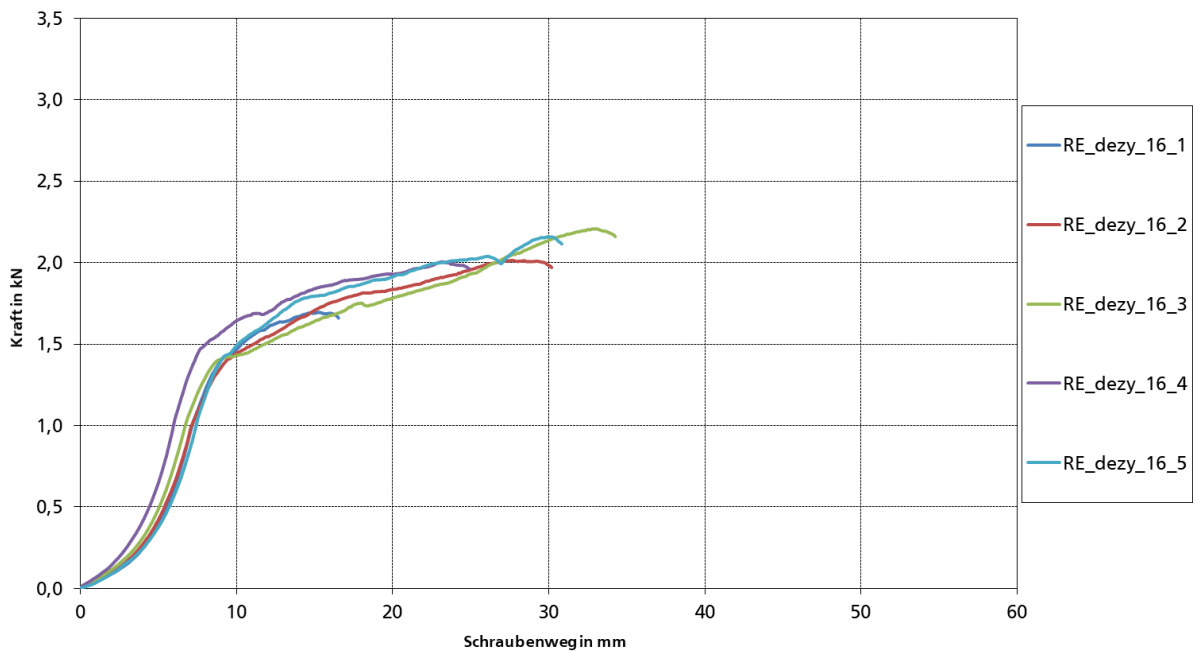


Bild 7.26: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RE 10:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralw., Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RE_dest_19_1	39,49	2,53	2,48	0,53	0,48	Delamination des inneren Deckblechs, teilweise Knitterfalte im äußeren Deckblech, Versagen durch Durchknöpfen
RE_dest_19_2	33,83	2,40	2,36			
RE_dest_19_3	33,05	2,40	2,35			
RE_dest_19_4	41,04	2,72	2,66			
RE_dest_19_5	33,63	2,37	2,33			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	2,48	2,43			
Standardabw.:	$s =$	0,06	0,06			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,16	2,12			

Belastung	zykl., $n = 5000, 2,5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RE_dezy_20_1	0,35	0,87	0,09	15,52	1,82	1,78	Schraube im Übergang Hochsicke/Tiefsicke
RE_dezy_20_2				34,77	2,22	2,18	Schraube in Hochsicke
RE_dezy_20_3				39,53	2,56	2,51	Schraube im Übergang Hochsicke/Tiefsicke
RE_dezy_20_4				30,92	2,23	2,18	
RE_dezy_20_5				25,09	2,06	2,02	
Mittelwert:	$F_{Rt,dyn} =$			2,18	2,13		
Standardabweichung:	$s =$			0,13	0,13		
5 %-Fraktilwert:	$F_{Rtk,dyn} =$			1,59	1,56		
Grenzwert Resttragfähigkeit:	$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$			1,13			

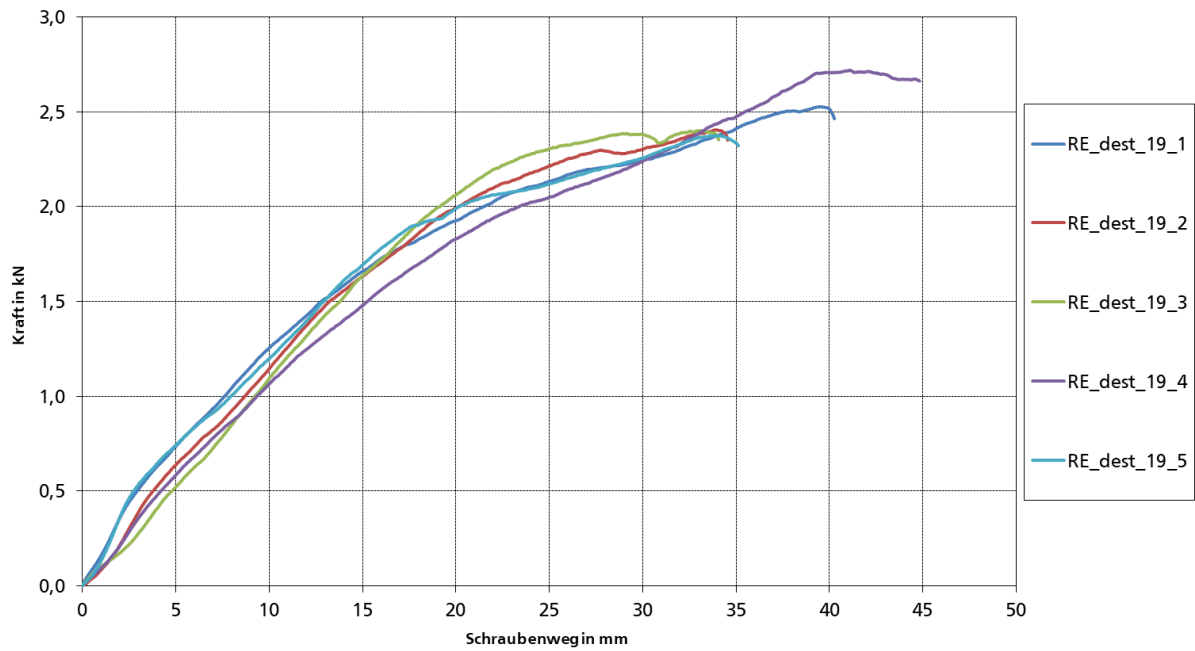


Bild 7.27: statische Auszugversuche

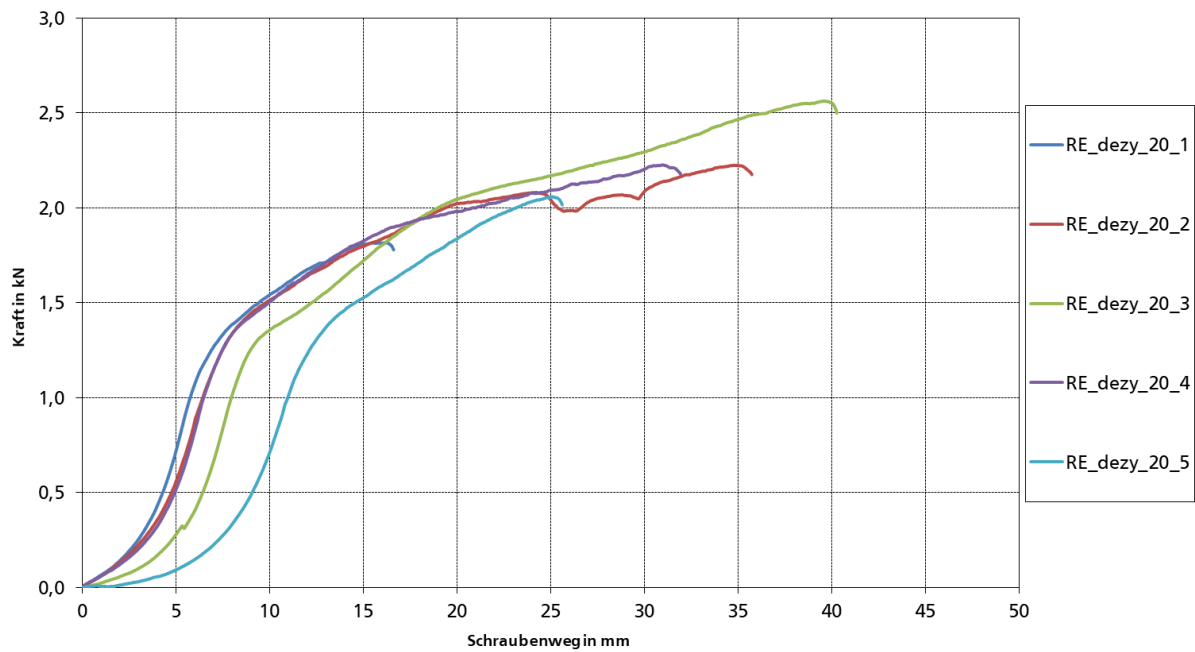


Bild 7.28: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RE 12:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralw., Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchsloge:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RE_dest_23_1	50,63	2,99	2,93	0,53	0,48	Delamination des inneren Deckblechs, teilweise Knitterfalte im äußeren Deckblech, Versagen durch Durchknöpfen
RE_dest_23_2	60,23	2,99	2,93			
RE_dest_23_3	53,51	2,86	2,80			
RE_dest_23_4	59,10	2,95	2,89			
RE_dest_23_5	42,57	2,61	2,55			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	2,88	2,82			
Standardabw.:	$s =$	0,06	0,06			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,49	2,44			

Belastung	zykl., $n = 5000, 2,5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RE_dezy_24_1 ¹	0,35	1,01	0,10	12,77	1,26	1,23	Schraube im Übergang Hochsicke/Tief- sicke
RE_dezy_24_2				15,88	1,67	1,63	
RE_dezy_24_3				38,87	2,60	2,54	Schraube in Hochsicke, Schraube im MiWo-Stoß
RE_dezy_24_4				34,54	2,50	2,45	
RE_dezy_24_5				33,61	2,40	2,35	Schraube in Hochsicke
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	2,08	2,04		
Standardabweichung:			$s =$	0,32	0,32		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	0,92	0,90		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	1,31			

¹ Grenzlast bei einem Versuch um 4 % unterschritten, jedoch im Mittel deutlich eingehalten.

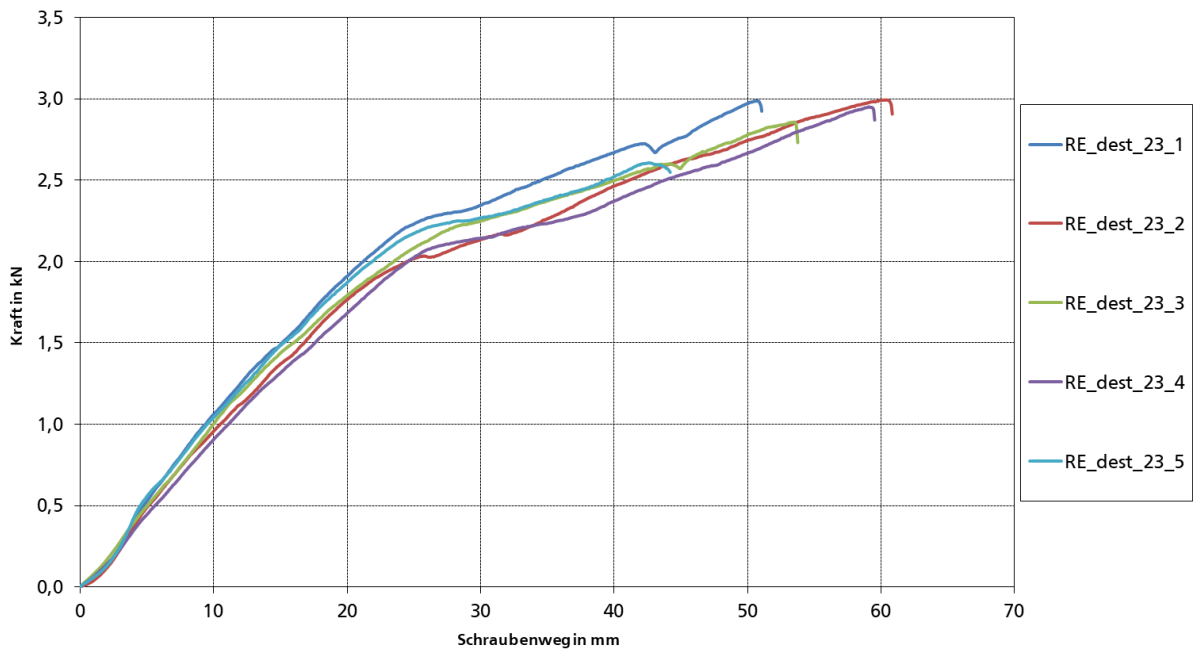


Bild 7.29: statische Auszugversuche

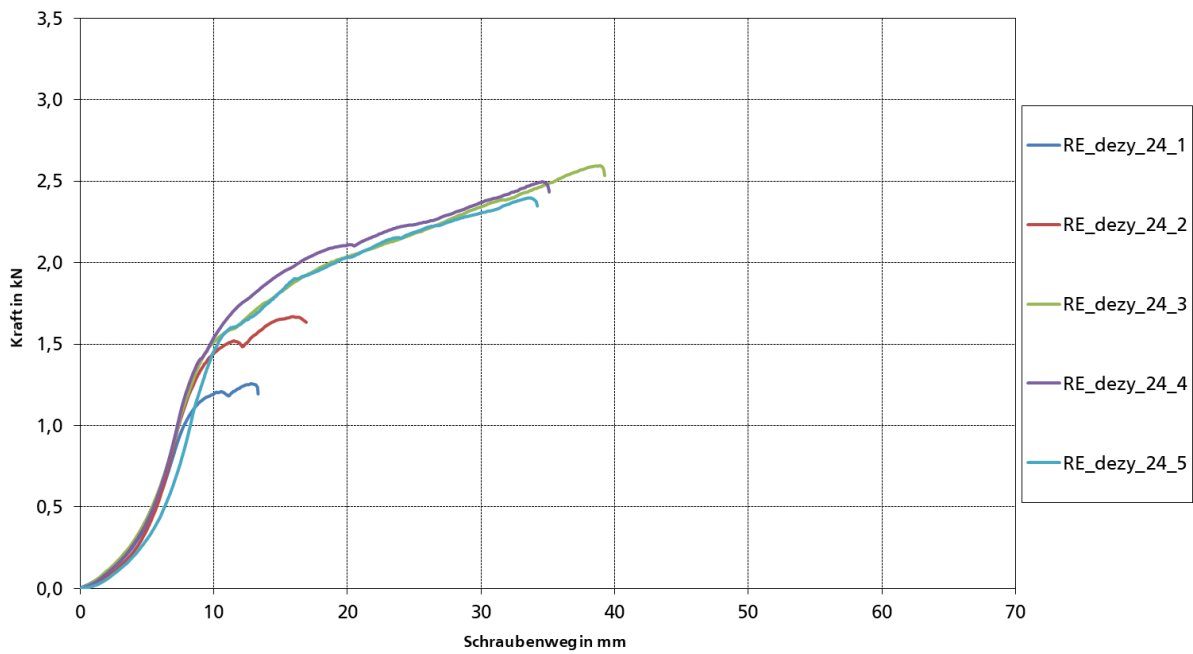


Bild 7.30: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.2 RH – ROMAKOWSKI/HILTI

Es folgt die Darstellung der Versuchsergebnisse aus der Kombination des Elementherstellers ROMAKOWSKI (Mineralwolle) mit dem Schraubenhersteller HILTI getrennt nach Versuchen am Mittelaufleger und Endaufleger.

7.2.1 Mittelaufleger

Alle Versuchskörper dieser Versuchsreihe versagten aufgrund von Durchknöpfen des Schraubenkopfes mitsamt der Unterlegscheibe durch das Deckblech. Bei nahezu allen Versuchskörpern trat zuvor eine Knitterfalte im Deckblech auf, die häufig mit einer Delamination des Deckblechs vom Kern einherging. Das Durchknöpfen trat in der Regel bei großen Deformationen auf. Der Großteil dieser Verformungen stellte sich erst nach dem Auftreten der Knitterfalte bei vergleichsweise geringem Lastzuwachs ein (siehe Kraft-Verformungsverläufe auf den Folgeseiten). Ein ähnliches Bild zeigte sich bei den Auszugversuchen im Anschluss an die zyklische Belastung, wobei die Verformung bis zum Knittern und zum Versagen insgesamt kleiner ausfiel. Die zyklische Belastung bewirkte eine deutliche Schädigung der Mineralwolle, wie nach stichprobenartiger Entfernung der Deckbleche ersichtlich wurde. Ferner trat bei allen Versuchen ein Durchschlagen der konisch geformten Unterlegscheibe bei geringer Last auf.

RH 1:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RH_dmst_1_1	52,64	4,29	4,07	0,49	0,49	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RH_dmst_1_2	52,26	4,09	3,88			
RH_dmst_1_3	38,90	3,69	3,50			
RH_dmst_1_4	40,50	3,81	3,61			
RH_dmst_1_5	57,06	4,19	3,97			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,02	3,80			
Standardabw.:	$s =$	0,06	0,06			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,42	3,24			

Belastung	zykl., n = 5000, 5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RH_dmzy_2_1	0,5	2,01	0,20	15,07	3,58	3,39	Knittern, anschließend Durchknöpfen
RH_dmzy_2_2				56,68	4,27	4,04	
RH_dmzy_2_3				30,85	3,57	3,39	
RH_dmzy_2_4				8,20	3,35	3,17	
RH_dmzy_2_5				43,27	3,94	3,74	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,74	3,54		
Standardabweichung:			$s =$	0,10	0,10		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	2,95	2,79		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,61			

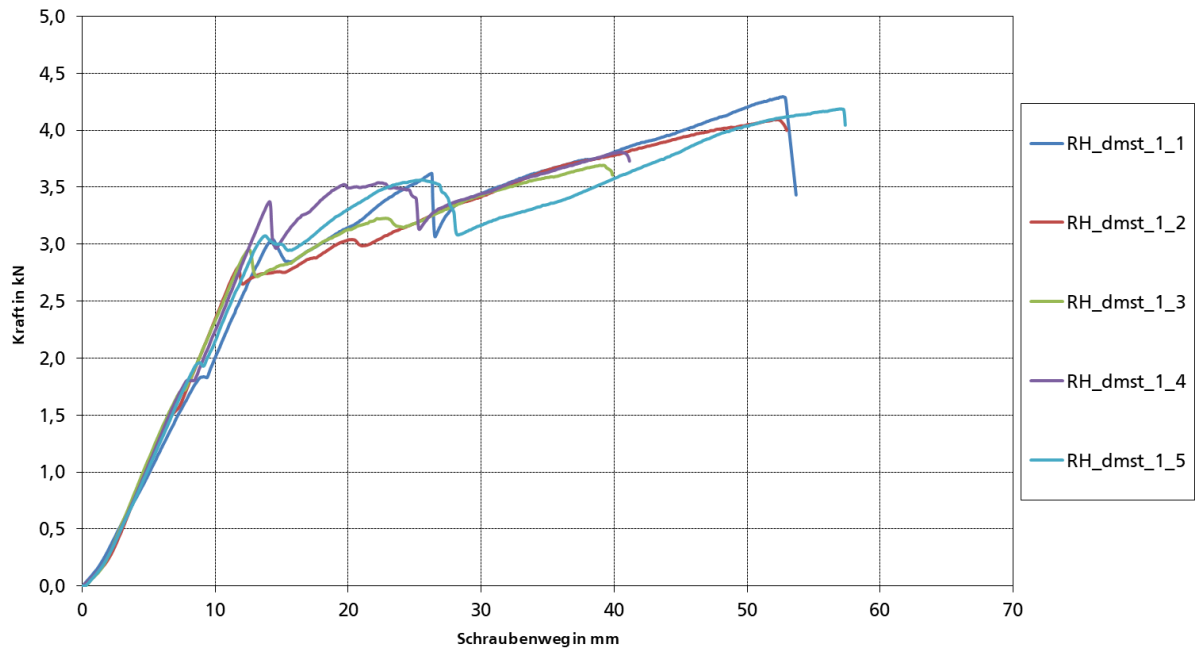


Bild 7.31: statische Auszugversuche

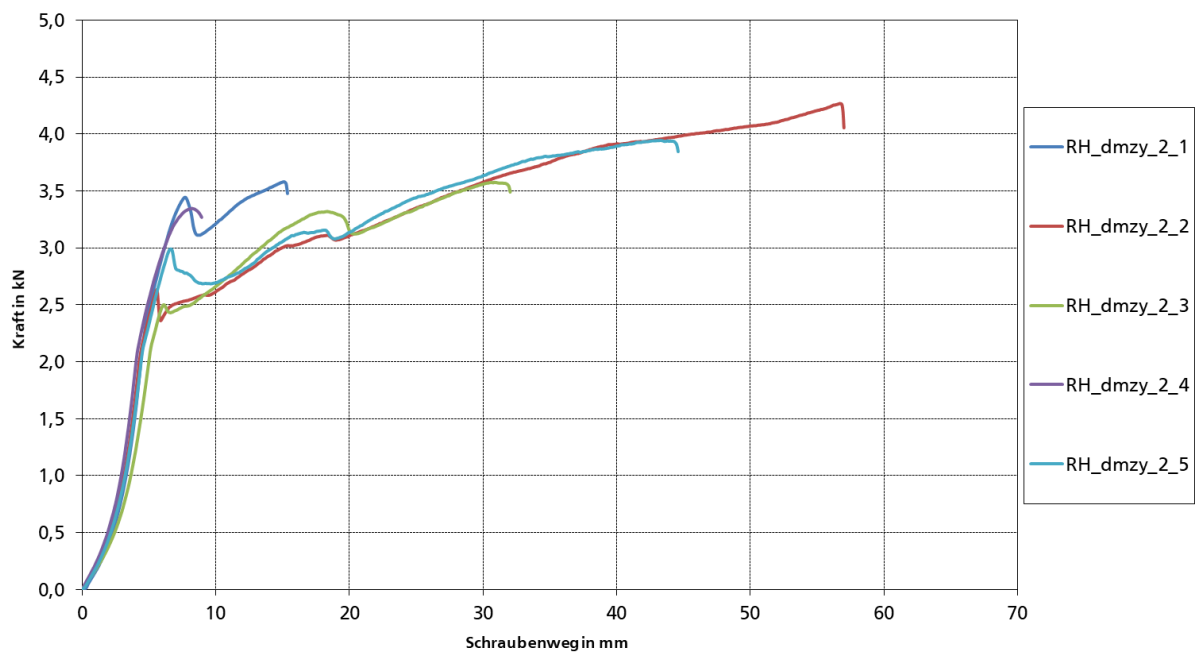


Bild 7.32: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RH 2:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RH_dmst_3_1	27,30	3,72	3,61	0,48	0,43	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RH_dmst_3_2 ¹	12,88	3,71	3,60			
RH_dmst_3_3 ¹	11,85	3,44	3,33			
RH_dmst_3_4	34,34	3,75	3,63			
RH_dmst_3_5	15,29	3,52	3,41			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,63	3,52			
Standardabw.:	$s =$	0,04	0,04			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,30	3,20			

Belastung	zykl., n = 5000, 5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RH_dmzy_4_1	0,5	1,81	0,18	9,09	3,52	3,41	Knittern, anschl. Durchknöpfen
RH_dmzy_4_2				7,49	2,94	2,85	
RH_dmzy_4_3				11,09	3,21	3,11	
RH_dmzy_4_4				9,60	3,61	3,50	Knittern, anschl. Durchknöpfen
RH_dmzy_4_5				9,98	3,33	3,23	
Mittelwert:	$F_{Rt,dyn} =$			3,32	3,22		
Standardabweichung:	$s =$			0,08	0,08		
5 %-Fraktilwert:	$F_{Rtk,dyn} =$			2,72	2,63		
Grenzwert Resttragfähigkeit:	$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$			2,36			

¹ Der abweichende Verlauf der Wegmessung (s. Bild 7.33) ergab sich durch eine ungünstige Positionierung der Wegaufnehmer am Übergang zwischen Hoch- und Tiefsicke.

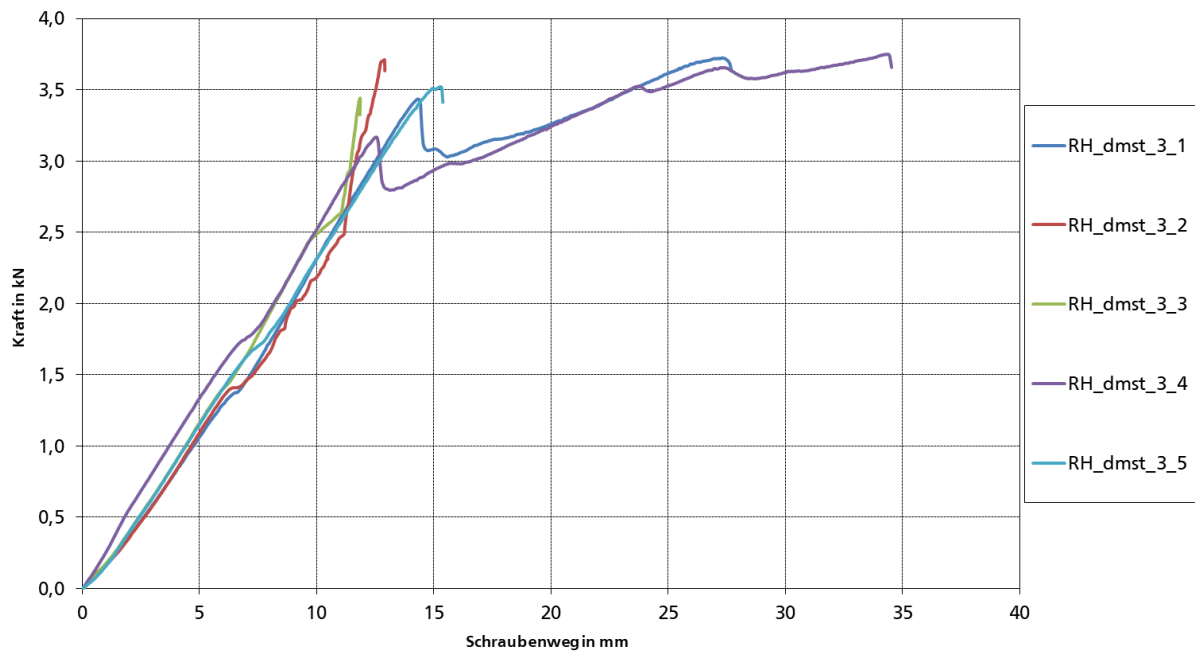


Bild 7.33: statische Auszugversuche

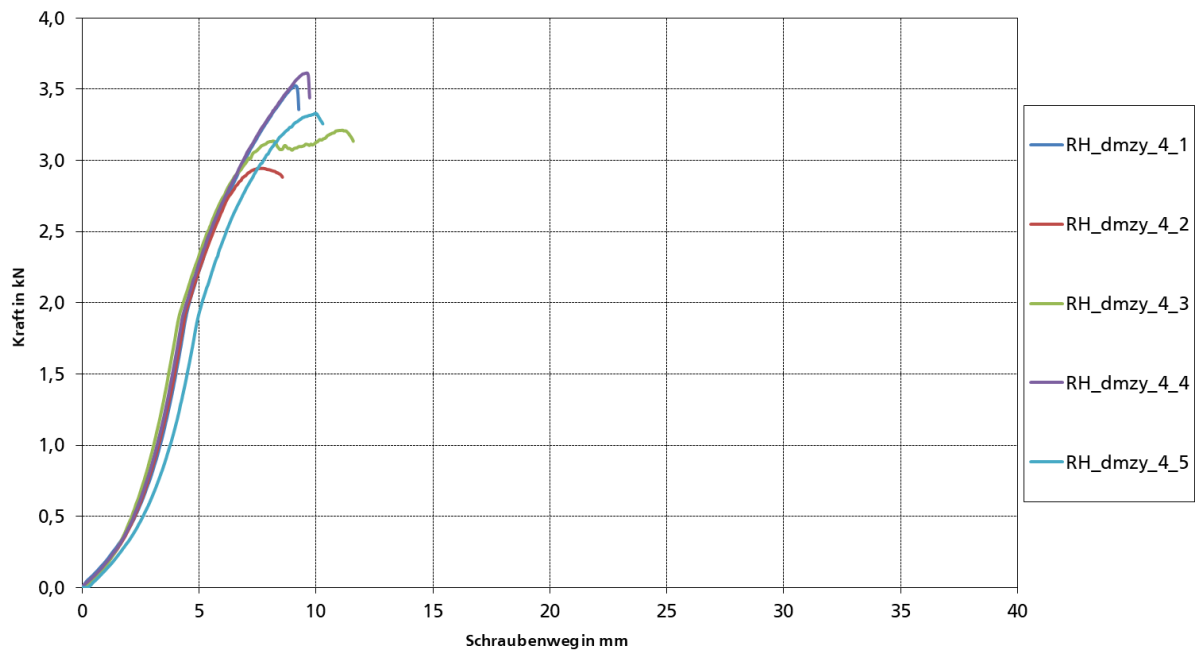


Bild 7.34: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RH 4:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RH_dmst_7_1	30,28	3,73	3,62	0,48	0,43	Knittern, anschl. Durchknöpfen
RH_dmst_7_2	15,22	3,65	3,54			
RH_dmst_7_3	15,74	3,92	3,80			
RH_dmst_7_4	33,73	4,02	3,89			
RH_dmst_7_5	31,17	4,02	3,89			Knittern, anschl. Durchknöpfen
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,87	3,75			
Standardabw.:	$s =$	0,04	0,04			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,47	3,36			

Belastung	zykl., n = 5000, 5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RH_dmzy_8_1	0,5	1,93	0,19	22,97	3,76	3,65	Knittern, anschl. Durchknöpfen
RH_dmzy_8_2				18,52	3,75	3,63	
RH_dmzy_8_3				10,45	3,80	3,68	Knittern, anschl. Durchknöpfen
RH_dmzy_8_4				27,81	3,99	3,87	
RH_dmzy_8_5				10,12	3,56	3,45	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,77	3,66		
Standardabweichung:			$s =$	0,04	0,04		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	3,41	3,30		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,51			

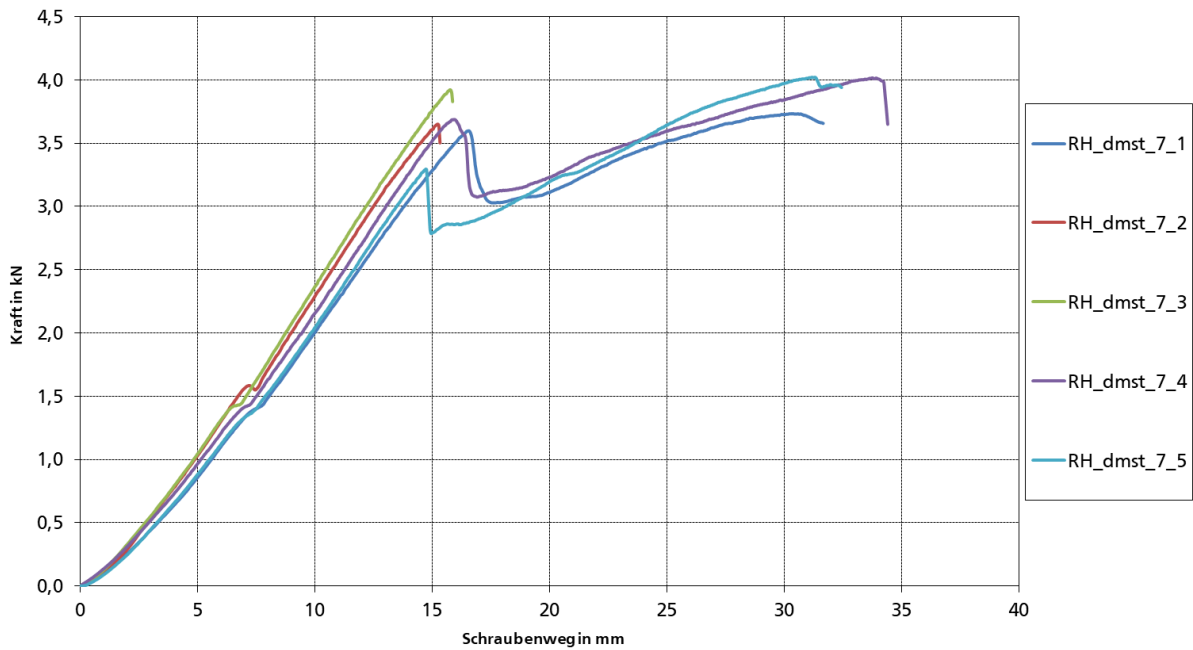


Bild 7.35: statische Auszugversuche

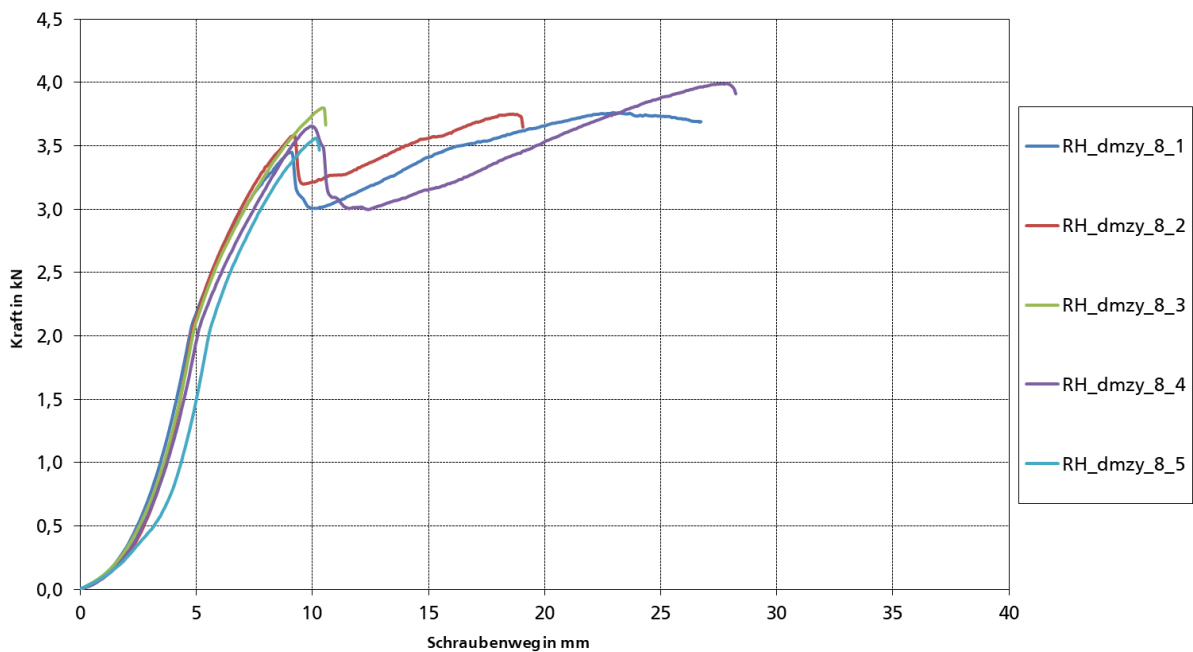


Bild 7.36: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.2.2 Endauflager

Die Versuche wurden mit einem Randabstand von 40 mm durchgeführt. Das Versagen in den Auszugversuchen erfolgte durch Durchknöpfen des Schraubenkopfes mitsamt der Unterlegscheibe. Ein Durchreißen des Blechs in Richtung der Elementkante wurde nicht beobachtet. Vor dem Versagen bildeten sich Knitterfalten im beanspruchten Deckblech. In einigen Versuchen entstand aufgrund der großen Deformationen ein Knick entlang der Auflagerkante des unbelasteten Deckblechs. Ebenso löste sich dabei das unbelastete Deckblech vom Mineralwollekern. Teilweise traten während der zyklischen Belastung feine Risse radial zum Bohrloch auf, wobei diese nur bei einem Versuch der Reihe RH 5 zum vorzeitigen Versagen führten. Der erforderliche Grenzwert wurde mit einem Lastfaktor $k = 0,5$ nicht erreicht. Eine Reduktion auf $k = 0,45$ führte zu dessen Einhaltung im Auszugversuch nach der zyklischen Beanspruchung. Bei den zyklischen Versuchen trat eine Schädigung der Mineralwolle an der Elementkante auf.



Bild 7.37: Versagen des Elements bei einem Randabstand von 40 mm

RH 3:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 40$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RH_dest_5_1	48,83	2,89	2,79	0,48	0,43	Hochsicke
RH_dest_5_2	64,65	2,95	2,85			Tiefsicke
RH_dest_5_3	75,09	3,31	3,21			Tiefsicke
RH_dest_5_4	77,12	3,42	3,32			Tiefsicke
RH_dest_5_5	57,38	3,00	2,91			Hochsicke
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,11	3,02			
Standardabw.:	$s =$	0,08	0,08			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,58	2,50			

Belastung	zykl., $n = 5000$, 2,5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RH_dezy_6_1	0,5	1,56	0,16	19,52	1,91	1,85	Tiefsicke, Knick zw. Schraube und Elementrand, Grenzwert nicht erreicht
RH_dezy_6_2				13,27	1,89	1,83	Hochsicke, Riss an Bohrloch nach zykl. Belastung, Grenzwert nicht erreicht
RH_dezy_6_3	0,45	1,40	0,14	32,68	2,24	2,17	Hochsicke, Riss an Bohrloch nach zykl. Belastung, MiWo teilweise ausgebrochen
RH_dezy_6_4				21,17	1,93	1,87	
RH_dezy_6_5				33,40	2,46	2,38	Tiefsicke, keine Rissbildung während zykl. Belastung
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$		2,21	2,14	
Standardabweichung:			$s =$		0,12	0,12	
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$		1,49	1,45	
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$		1,82		(für $k = 0,45$)

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit Lastfaktor $k = 0,45$ berücksichtigt (6_3 bis 6_5).

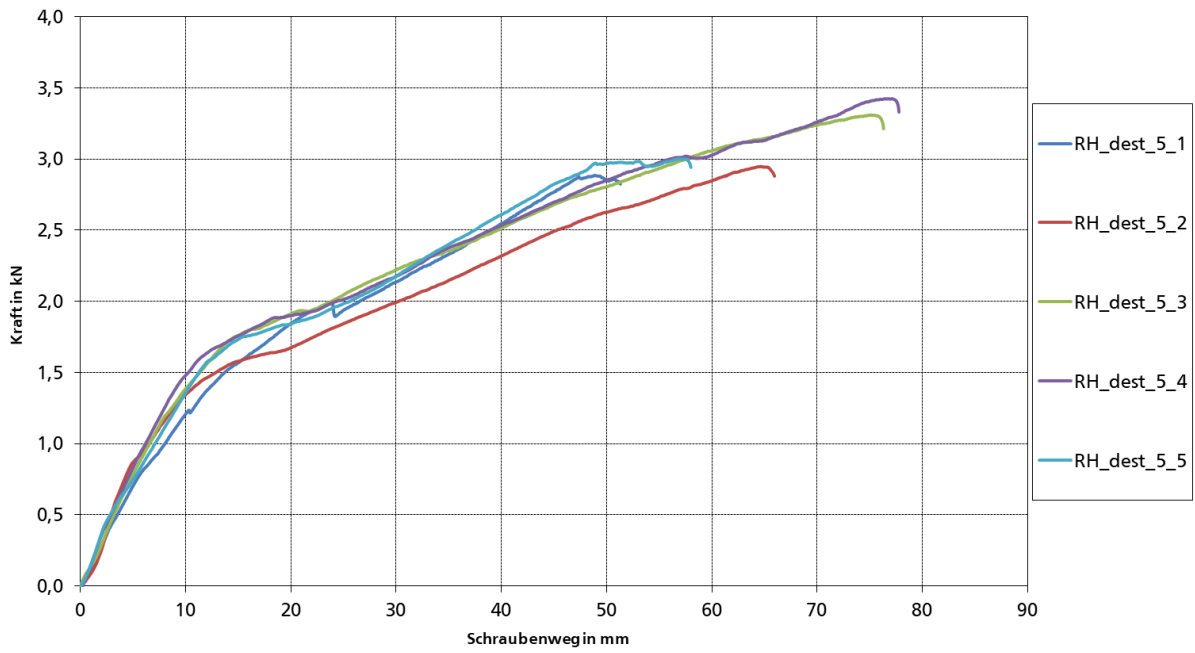


Bild 7.38: statische Auszugversuche

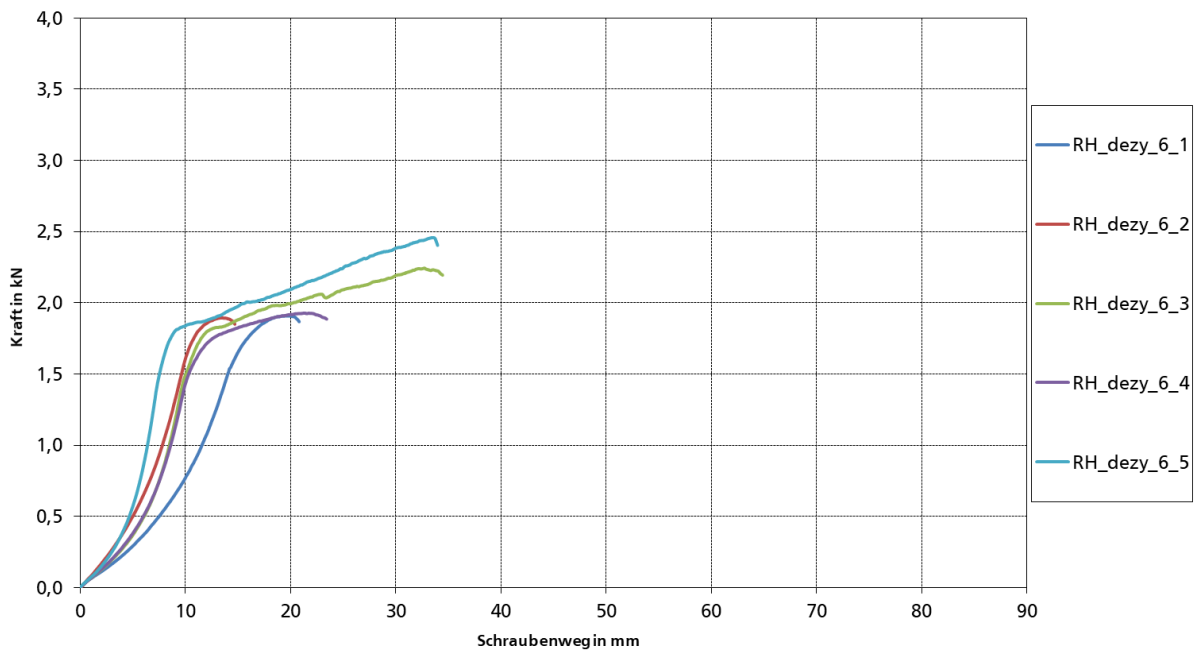


Bild 7.39: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RH 5:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 40$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RH_dest_9_1	62,98	3,10	3,00	0,48	0,43	Hochsicke
RH_dest_9_2	72,45	3,21	3,11			
RH_dest_9_3	69,02	3,22	3,12			Tiefsicke
RH_dest_9_4	69,88	3,26	3,16			
RH_dest_9_5	74,84	3,29	3,19			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,22	3,12			
Standardabw.:	$s =$	0,02	0,02			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,04	2,95			

Belastung	zykl., $n = 5000, 2,5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RH_dezy_10_1	0,5	1,61	0,16	-	-	-	Tiefsicke. Durchknöpfen nach 4900 LW
RH_dezy_10_2	0,45	1,45	0,14	26,35	1,90	1,84	Hochsicke, Riss unter U-Scheibe nach zykl. Belastung
RH_dezy_10_3				19,79	1,97	1,91	Tiefsicke, Riss unter U-Scheibe nach zykl. Belastung
RH_dezy_10_4				43,13	2,66	2,57	Hochsicke
RH_dezy_10_5				27,22	2,02	1,96	Hochsicke, Riss unter U-Scheibe nach zykl. Belastung
Mittelwert:	$F_{Rt,dyn} =$			2,13	2,07		
Standardabweichung:	$s =$			0,15	0,15		
5 %-Fraktilwert:	$F_{Rtk,dyn} =$			1,40	1,36		
Grenzwert Resttragfähigkeit:	$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$			1,88		(für $k = 0,45$)	

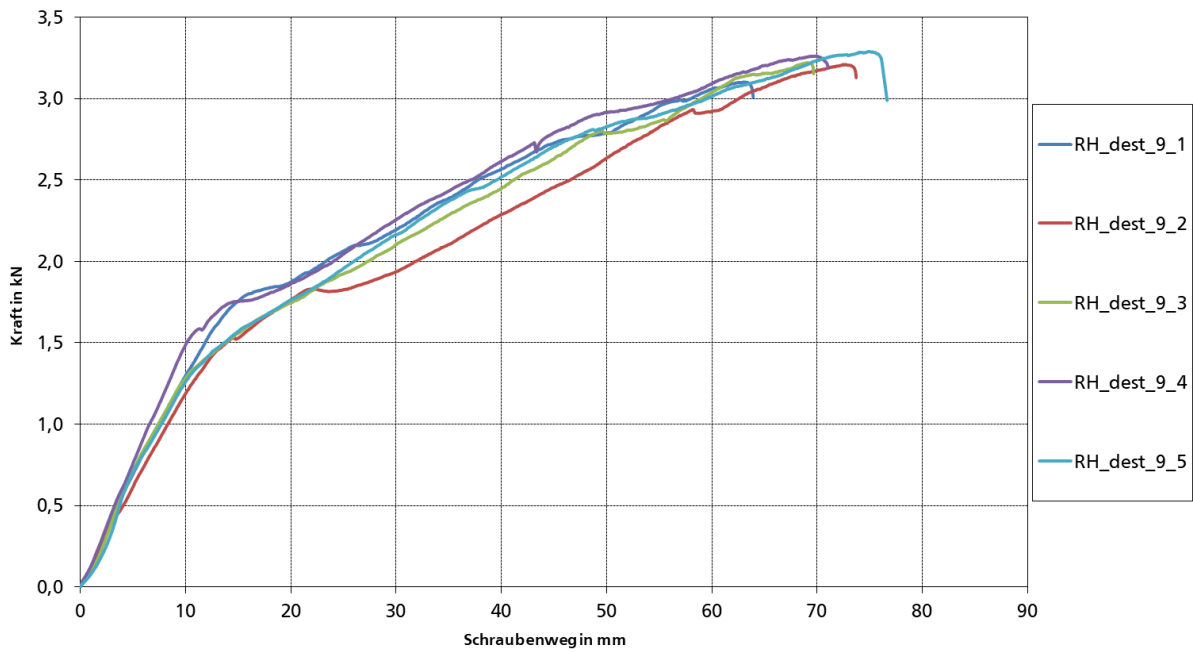


Bild 7.40: statische Auszugversuche

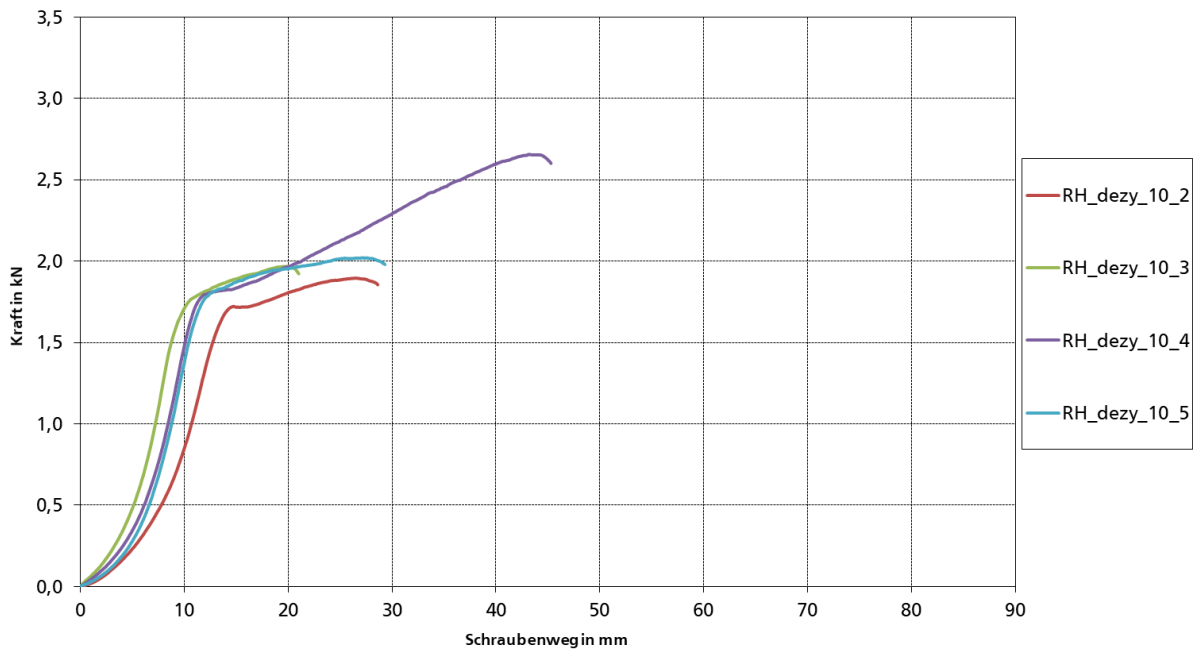


Bild 7.41: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.3 RS – ROMAKOWSKI/SFS

Es folgt die Darstellung der Versuchsergebnisse aus der Kombination des Elementherstellers ROMAKOWSKI (Mineralwolle) mit dem Schraubenhersteller SFS getrennt nach Versuchen am Mittelaufleger und Endaufleger.

7.3.1 Mittelaufleger

Alle Versuchskörper dieser Versuchsreihe versagten aufgrund von Durchknöpfen des Schraubenkopfes mitsamt der Unterlegscheibe durch das Deckblech. Bei nahezu allen Versuchskörpern trat zuvor eine Knitterfalte im Deckblech auf, die häufig mit einer Delamination des Deckblechs vom Kern einherging. Das Durchknöpfen trat in der Regel bei großen Deformationen auf. Der Großteil dieser Verformungen stellte sich erst nach dem Auftreten der Knitterfalte bei vergleichsweise geringem Lastzuwachs ein (siehe Kraft-Verformungsverläufe auf den Folgeseiten). Ein ähnliches Bild zeigte sich bei den Auszugversuchen im Anschluss an die zyklische Belastung, wobei die Verformung bis zum Knittern und zum Versagen insgesamt kleiner ausfiel. Die zyklische Belastung bewirkte eine deutliche Schädigung der Mineralwolle, wie nach stichprobenartiger Entfernung der Deckbleche ersichtlich wurde. Ferner trat bei allen Versuchen ein Durchschlagen der konisch geformten Unterlegscheibe bei geringer Last auf.

RS 1:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RS_dmst_1_1	17,36	3,29	3,12	0,55	0,49	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmst_1_2	35,41	3,65	3,47			
RS_dmst_1_3	37,27	3,86	3,66			
RS_dmst_1_4	40,51	3,77	3,58			
RS_dmst_1_5	40,08	3,59	3,41			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,63	3,45			
Standardabw.:	$s =$	0,06	0,06			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,12	2,96			

Belastung	zykl., n = 5000, 5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RS_dmzy_2_1	0,5	1,82	0,18	19,49	3,27	3,11	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmzy_2_2				14,13	3,30	3,13	
RS_dmzy_2_3				9,48	3,21	3,05	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmzy_2_4				18,18	3,41	3,24	
RS_dmzy_2_5				17,36	3,57	3,39	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,35	3,18		
Standardabweichung:			$s =$	0,04	0,04		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	3,02	2,87		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,36			

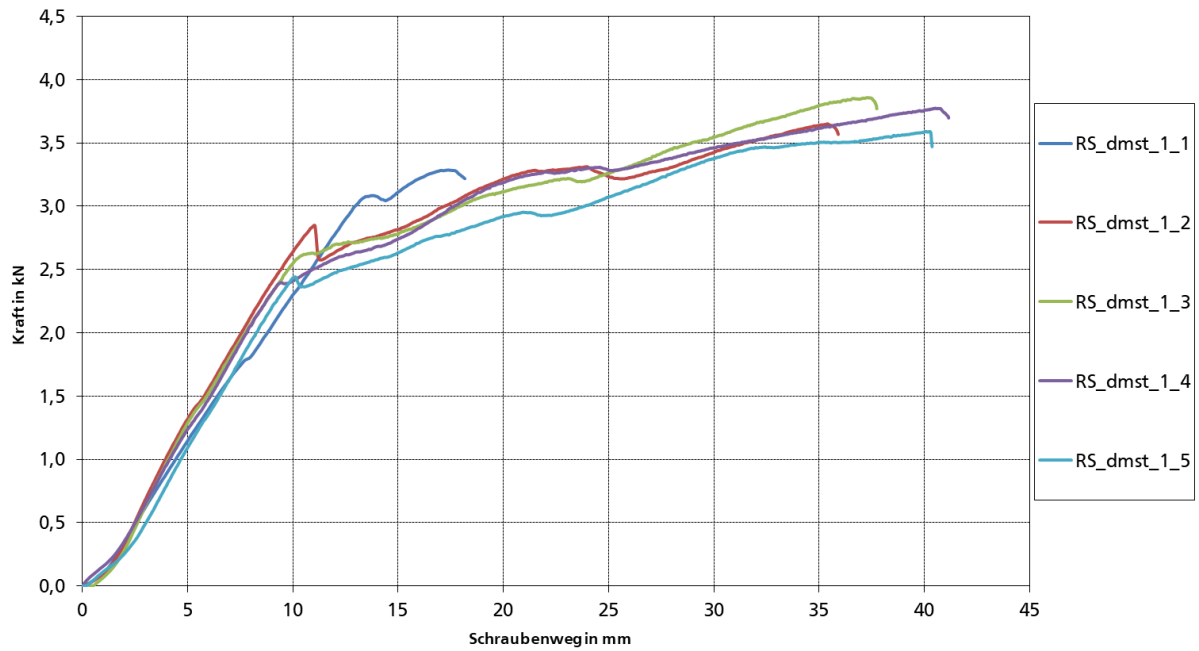


Bild 7.42: statische Auszugversuche

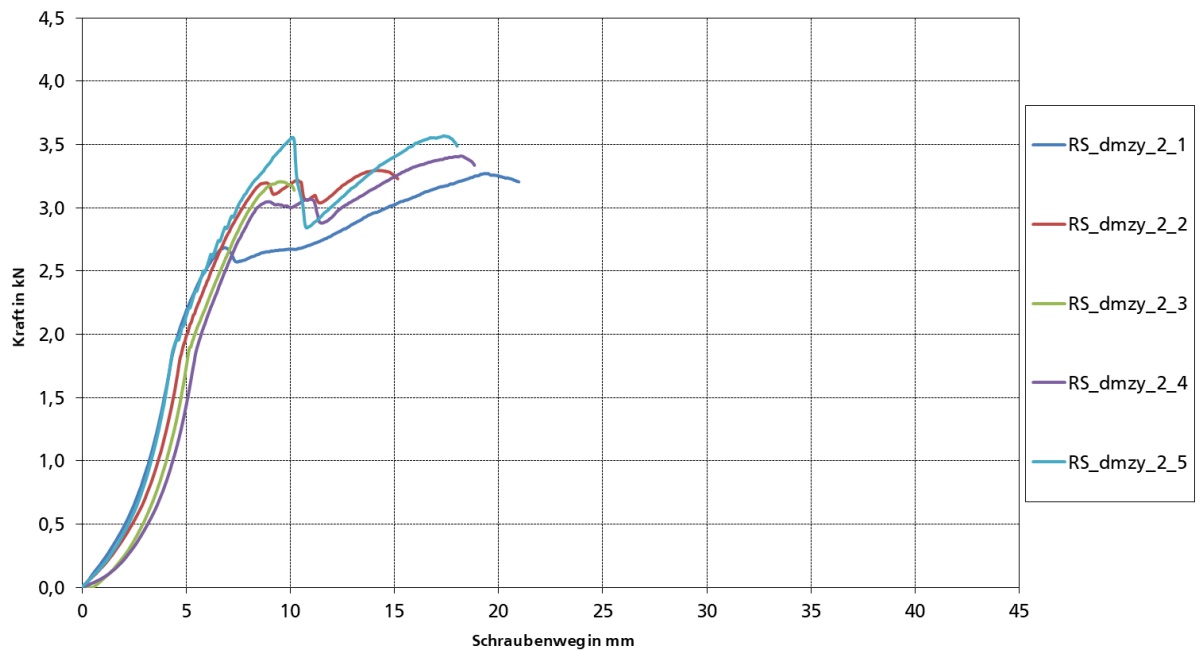


Bild 7.43: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RS 3:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RS_dmst_5_1	68,02	6,15	5,84	0,55	0,49	sehr große Abweichung, Versuch wird für die Auswertung verworfen Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmst_5_2	58,69	4,48	4,25			
RS_dmst_5_3	53,69	4,33	4,12			
RS_dmst_5_4	49,89	4,48	4,26			
RS_dmst_5_5	44,04	3,93	3,73			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,31	4,09			
Standardabw.:	$s =$	0,06	0,06			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,64	3,46			

Belastung	zykl., $n = 5000, 5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RS_dmzy_6_1	0,5	2,15	0,22	19,47	3,65	3,46	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmzy_6_2				18,18	3,63	3,45	Riss am Sickensteg nach zykl. Belastung
RS_dmzy_6_3 ¹				11,40	2,43	2,31	Schädigung der MiWo am Elementrand nach 600 LW
RS_dmzy_6_4				40,64	3,71	3,52	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmzy_6_5				21,60	3,10	2,95	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,30	3,14		
Standardabweichung:			$s =$	0,18	0,18		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	2,10	1,99		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,80			

¹ Der Grenzwert von 2,8 kN wurde um 13 % unterschritten, ist im Mittel jedoch deutlich eingehalten.

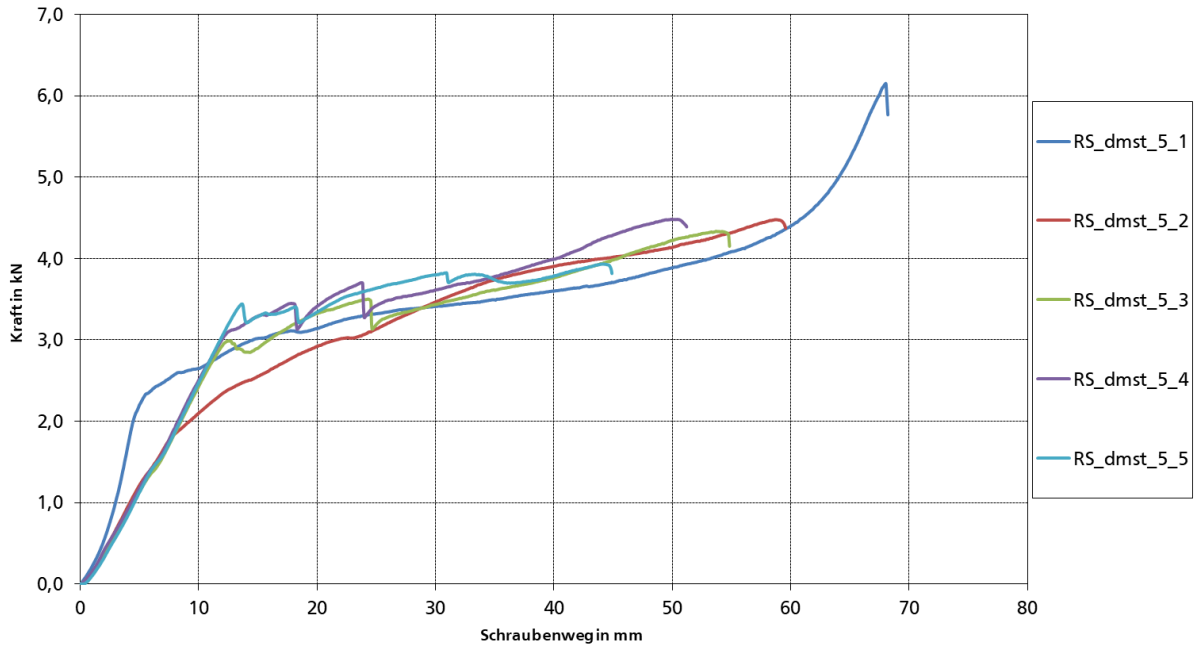


Bild 7.44: statische Auszugversuche

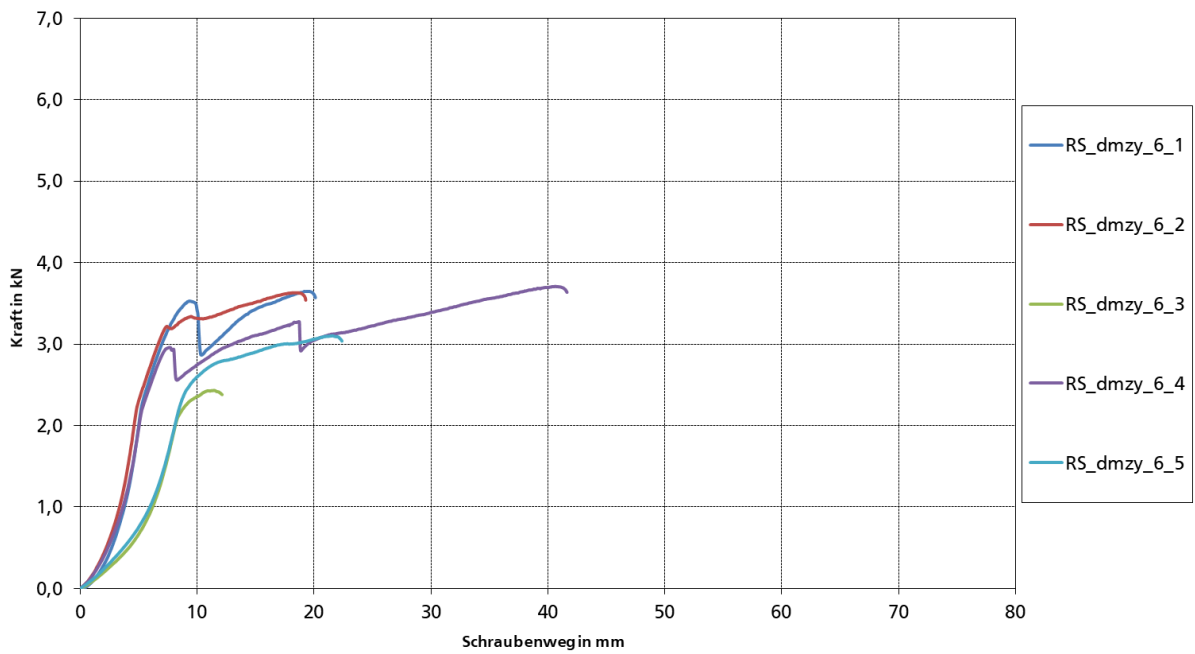


Bild 7.45: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RS 5:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RS_dmst_9_1	47,92	3,50	3,32	0,49	0,49	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmst_9_2	16,53	3,37	3,19			
RS_dmst_9_3	13,48	3,29	3,12			
RS_dmst_9_4	24,39	3,19	3,02			Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmst_9_5	14,89	3,35	3,17			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,34	3,16			
Standardabw.:	$s =$	0,03	0,03			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,07	2,91			

Belastung	zykl., n = 5000, 5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RS_dmzy_10_1	0,5	1,67	0,17	7,01	2,28	2,16	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmzy_10_2				15,87	3,03	2,87	
RS_dmzy_10_3				8,75	2,86	2,71	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmzy_10_4				9,95	2,87	2,72	
RS_dmzy_10_5				16,57	2,97	2,81	
Mittelwert:	$F_{Rt,dyn} =$			2,80	2,65		
Standardabweichung:	$s =$			0,12	0,12		
5 %-Fraktilwert:	$F_{Rtk,dyn} =$			2,10	1,98		
Grenzwert Resttragfähigkeit:	$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$			2,17			

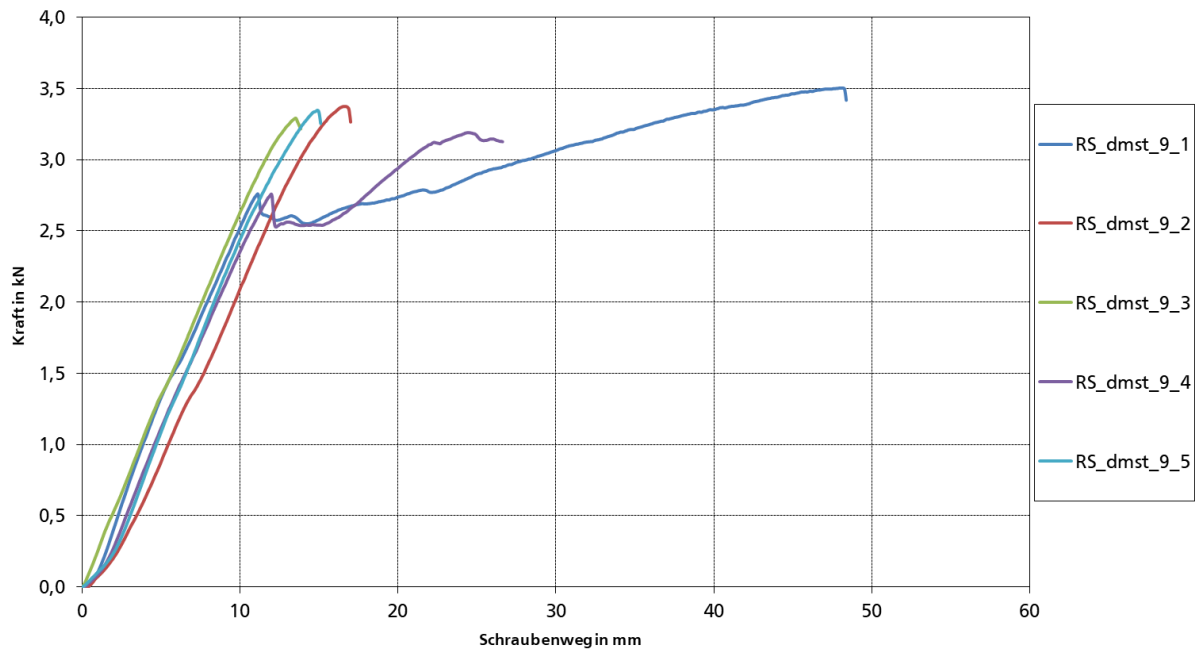


Bild 7.46: statische Auszugversuche

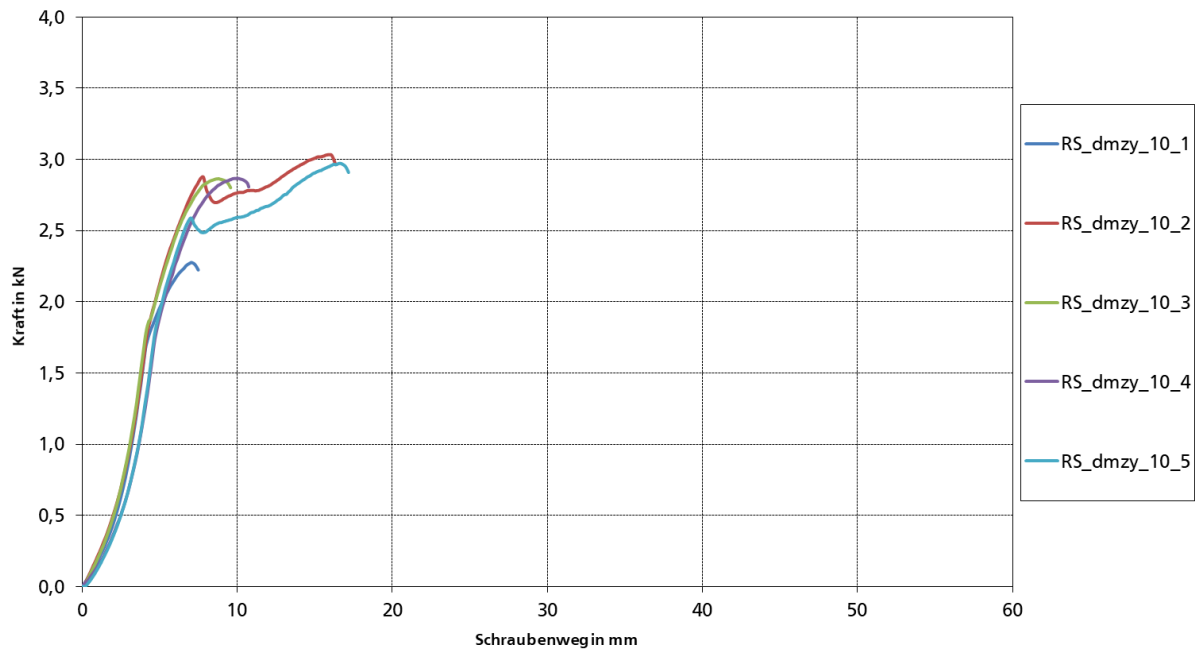


Bild 7.47: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RS 7:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RS_dmst_13_1	34,65	3,71	3,51	0,49	0,49	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmst_13_2	22,90	3,26	3,09			
RS_dmst_13_3	27,12	3,16	3,00			
RS_dmst_13_4	25,74	3,40	3,22			
RS_dmst_13_5	32,76	3,24	3,06			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,35	3,18			
Standardabw.:	$s =$	0,06	0,06			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,87	2,72			

Belastung	zykl., n = 5000, 5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RS_dmzy_14_1	0,5	1,68	0,17	44,47	3,93	3,72	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmzy_14_2				33,91	3,73	3,54	
RS_dmzy_14_3				19,83	3,13	2,96	
RS_dmzy_14_4				44,02	3,87	3,67	
RS_dmzy_14_5				29,68	3,36	3,19	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,61	3,42		
Standardabweichung:			$s =$	0,10	0,10		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	2,82	2,67		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,18			

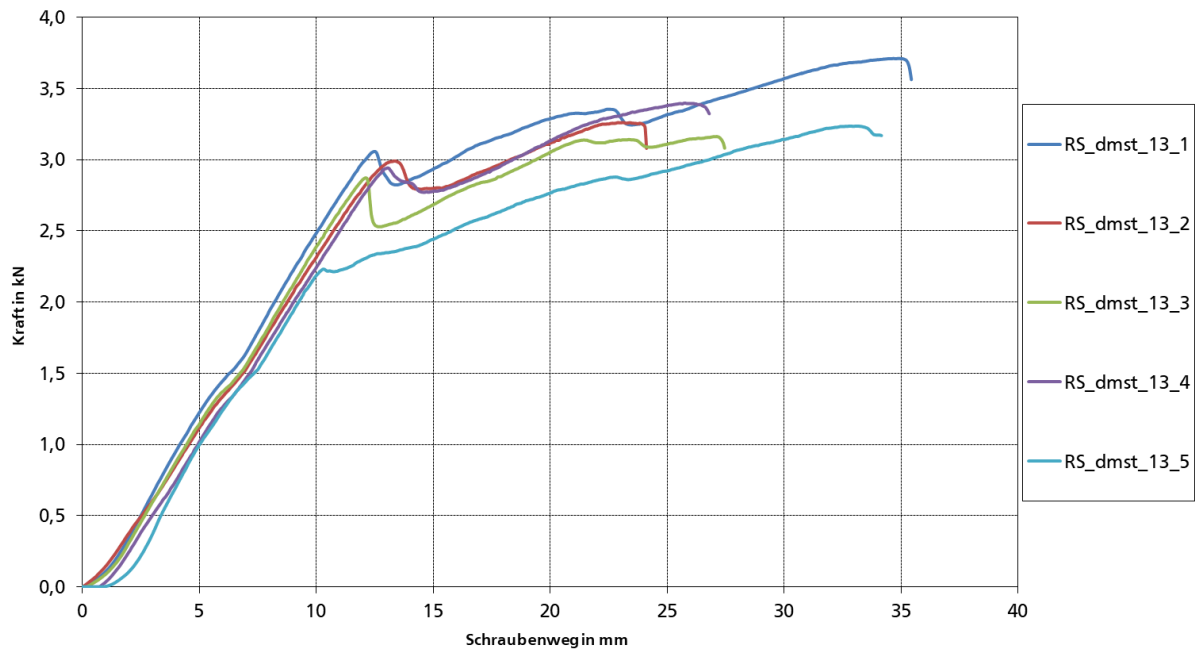


Bild 7.48: statische Auszugversuche

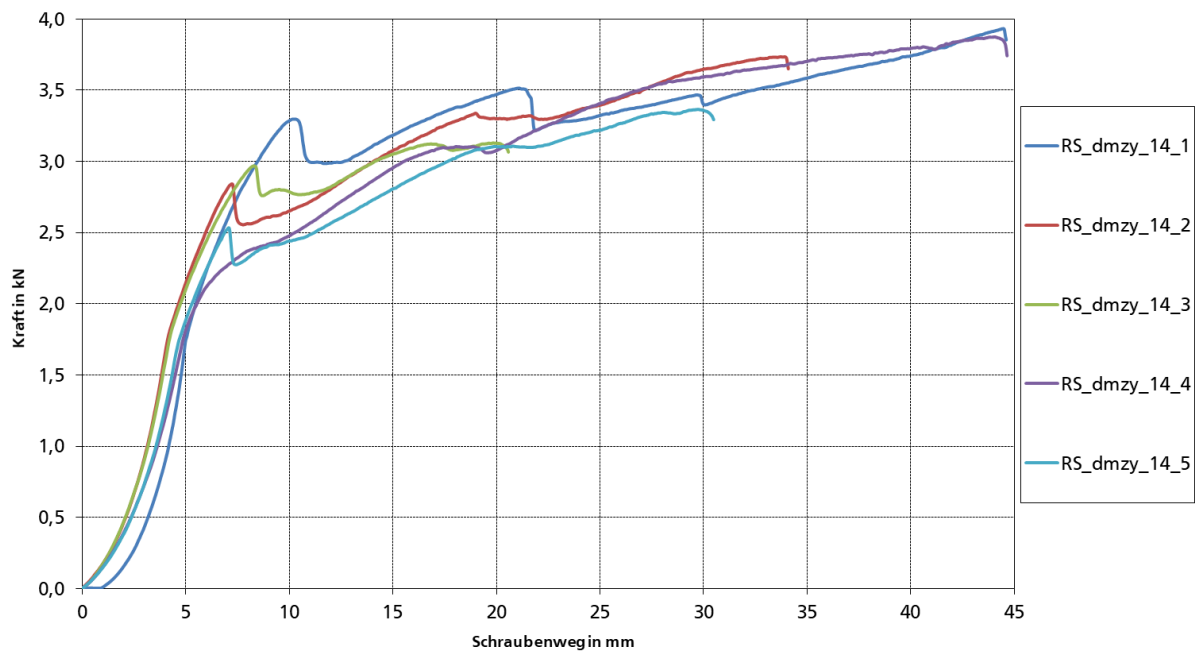


Bild 7.49: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RS 9:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RS_dmst_17_1	31,22	4,17	4,08	0,53	0,48	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmst_17_2	47,66	4,16	4,08			
RS_dmst_17_3	21,04	3,82	3,74			
RS_dmst_17_4	28,48	3,50	3,42			
RS_dmst_17_5	42,07	3,97	3,89			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,92	3,84			
Standardabw.:	$s =$	0,07	0,07			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,27	3,21			

Belastung	zykl., $n = 5000, 5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RS_dmzy_18_1	0,5	1,96	0,20	31,22	4,06	3,98	Knittern/Delamination, anschließend Durchknöpfen
RS_dmzy_18_2				47,66	4,25	4,16	
RS_dmzy_18_3				21,04	3,79	3,71	
RS_dmzy_18_4				28,48	3,28	3,22	
RS_dmzy_18_5				42,07	3,68	3,60	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,81	3,73		
Standardabweichung:			$s =$	0,10	0,10		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	2,98	2,92		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,55			

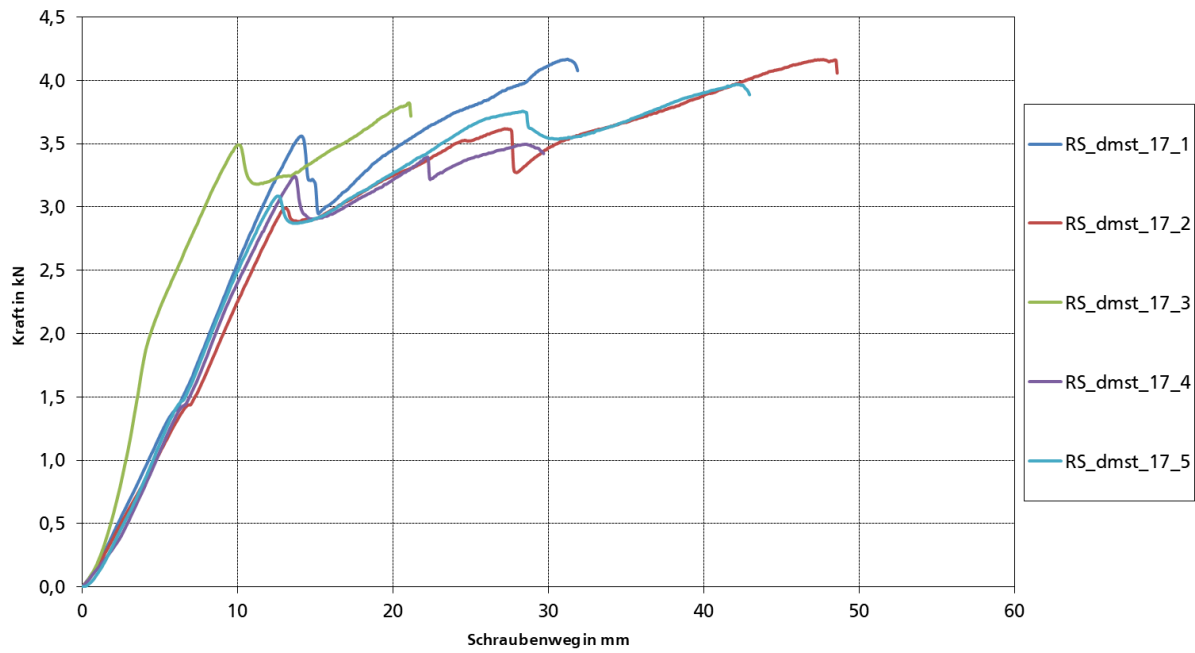


Bild 7.50: statische Auszugversuche

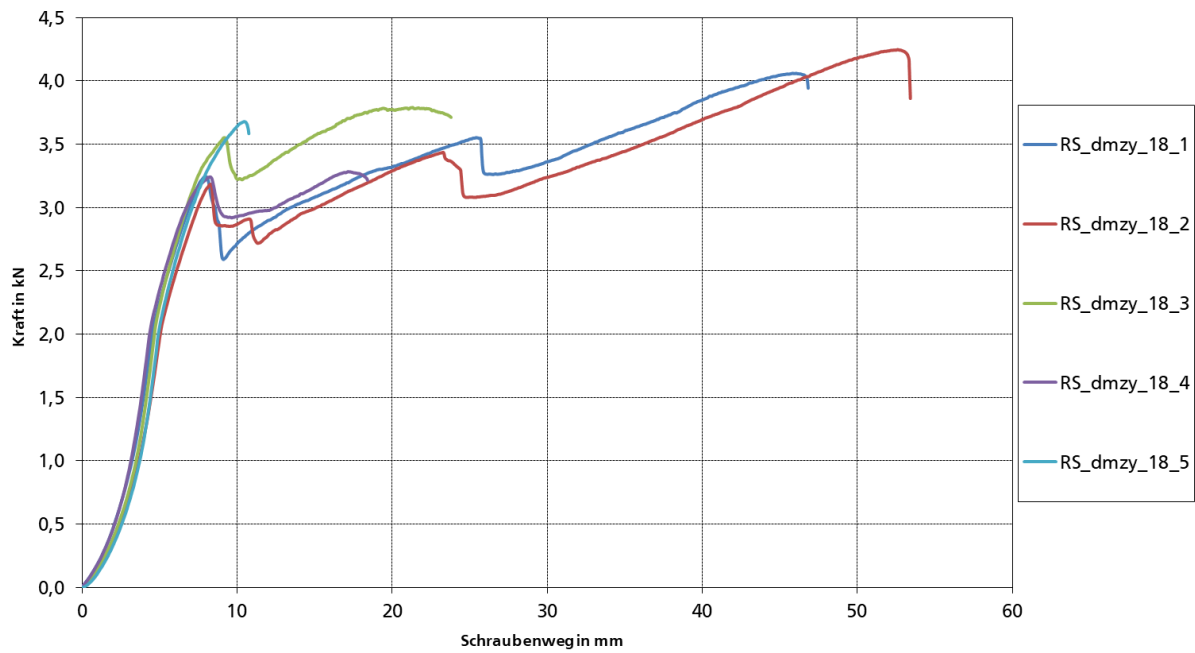


Bild 7.51: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.3.2 Endauflager

Die Versuche wurden mit einem Randabstand von 40 mm durchgeführt. Das Versagen in den Auszugversuchen erfolgte durch Durchknöpfen des Schraubenkopfes mitsamt der Unterlegscheibe. Ein Durchreißen des Blechs in Richtung der Elementkante trat bei einzelnen Versuchen auf. Vor dem Versagen bildeten sich Knitterfalten im beanspruchten Deckblech. In einigen Versuchen entstand aufgrund der großen Deformationen ein Knick entlang der Auflagerkante des unbelasteten Deckblechs. Dieses löste sich dabei vom Mineralwollekern. Bei den Versuchen mit zyklischer Belastung trat eine Schädigung der Mineralwolle an der Elementkante auf. Die Schraubenlage in der Hochsicke ergab in der Regel größere Resttragfähigkeiten als in der Tiefsicke. Bei den Versuchskörpern mit der Schraubenlage in der Tiefsicke trat häufiger ein vorzeitiges Versagen während der zyklischen Beanspruchung auf. Die Versuche ergaben einen minimalen Lastfaktor von $k = 0,35$. In zwei Versuchsreihen (RS2 und RS4) trat häufig ein vorzeitiges Versagen während der zyklischen Belastung auf.

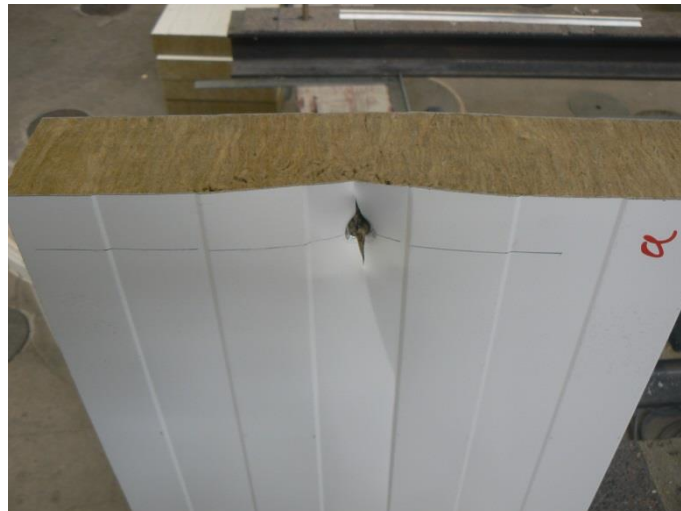


Bild 7.52: Versagen des Elements bei einem Randabstand von 40 mm

RS 2:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 40$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RS_dest_3_1	46,75	2,73	2,59	0,55	0,49	Tiefsicke, Knittern, Delamination, Durchknöpfen
RS_dest_3_2	47,43	2,87	2,72			Hochsicke, Knittern, Delamination, Durchknöpfen
RS_dest_3_3	51,18	2,85	2,71			Tiefsicke, Knittern, Delamination, Durchknöpfen
RS_dest_3_4	42,03	2,61	2,48			
RS_dest_3_5	49,02	2,62	2,49			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	2,73	2,60			
Standardabw.:	$s =$	0,04	0,04			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,45	2,33			

Belastung	zykl., n = 5000, 2,5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	W _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	Bemerkung
RS_dezy_4_1	0,5	1,37	0,14	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen 2200 LW
RS_dezy_4_2	0,45	1,23	0,12	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 2500 LW
RS_dezy_4_3				-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 2500 LW
RS_dezy_4_4				18,65	1,87	1,78	Hochsicke, Anriss an Bohrung, Grenzwert erreicht
RS_dezy_4_5				26,83	1,87	1,78	
RS_dezy_4_6				0,4	1,09	0,11	-
RS_dezy_4_7	0,35	0,96	0,10	12,03	1,44	1,37	Tiefsicke, Anriss an Bohrung, Grenzwert erreicht
RS_dezy_4_8				-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 4000 LW
RS_dezy_4_9				-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 3900 LW
RS_dezy_4_10				-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 2800 LW
RS_dezy_4_11				20,16	2,08	1,98	Hochsicke, Anriss an Bohrung, Grenzwert erreicht
RS_dezy_4_12				39,03	2,42	2,30	Hochsicke
Mittelwert:				F _{Rt,dyn} =		2,06	1,96
Standardabweichung:			s =		0,12	0,12	
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =		1,48	1,40	
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =		1,24		(für k = 0,35)

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche in der Hochsicke berücksichtigt (4_4, 4_5 sowie 4_11 und 4_12). Der minimale Lastfaktor betrug k = 0,35. In der Tiefsicke betrug der minimale Lastfaktor k = 0,35, wobei in einigen Versuchen ein vorzeitiges Versagen während der zyklischen Belastung auftrat.

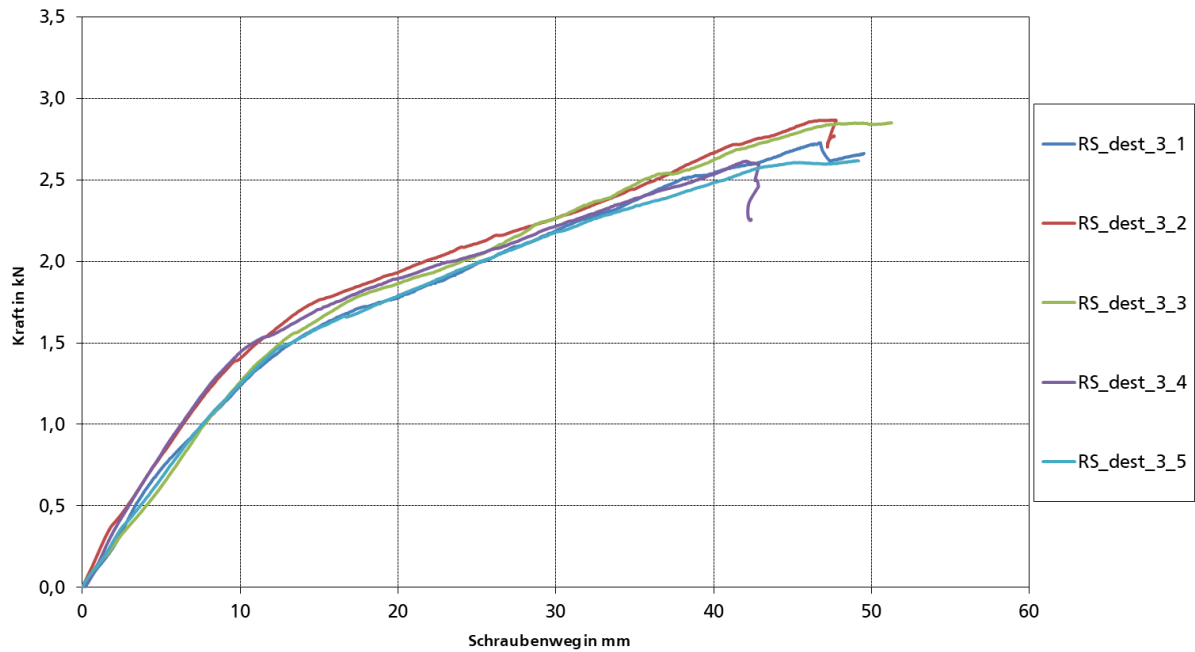


Bild 7.53: statische Auszugversuche

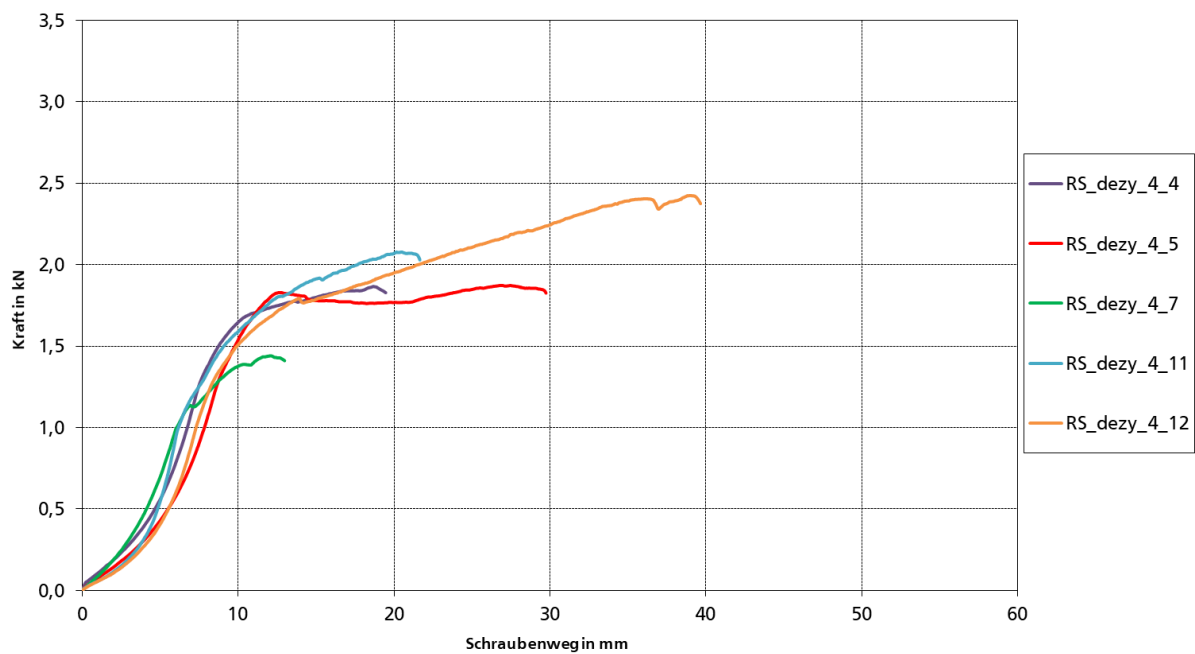


Bild 7.54: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

RS 4:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,6$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 40$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RS_dest_7_1	48,99	2,96	2,81	0,55	0,49	Hochsicke, Knittern, Delamination, Durchknöpfen
RS_dest_7_2	48,67	2,97	2,82			
RS_dest_7_3	47,94	2,97	2,82			
RS_dest_7_4	50,51	2,68	2,55			Tiefsicke, Knittern, Delamination, Durchknöpfen
RS_dest_7_5	42,52	2,97	2,82			Hochsicke, Knittern, Delamination, Durchknöpfen
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	2,91	2,76			
Standardabw.:	$s =$	0,04	0,04			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,61	2,47			

Belastung	zykl., $n = 5000, 2,5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
RS_dezy_8_1	0,5	1,45	0,15	-	-	-	Hochsicke, Anriss und Durchknöpfen bei 4000 LW
RS_dezy_8_2	0,4	1,16	0,12	-	-	-	Tiefsicke, Anriss und Durchknöpfen bei 2450 LW
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$		-	-	
Standardabweichung:			$s =$		-	-	
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$		-	-	
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$		1,51		(für $k = 0,4$)

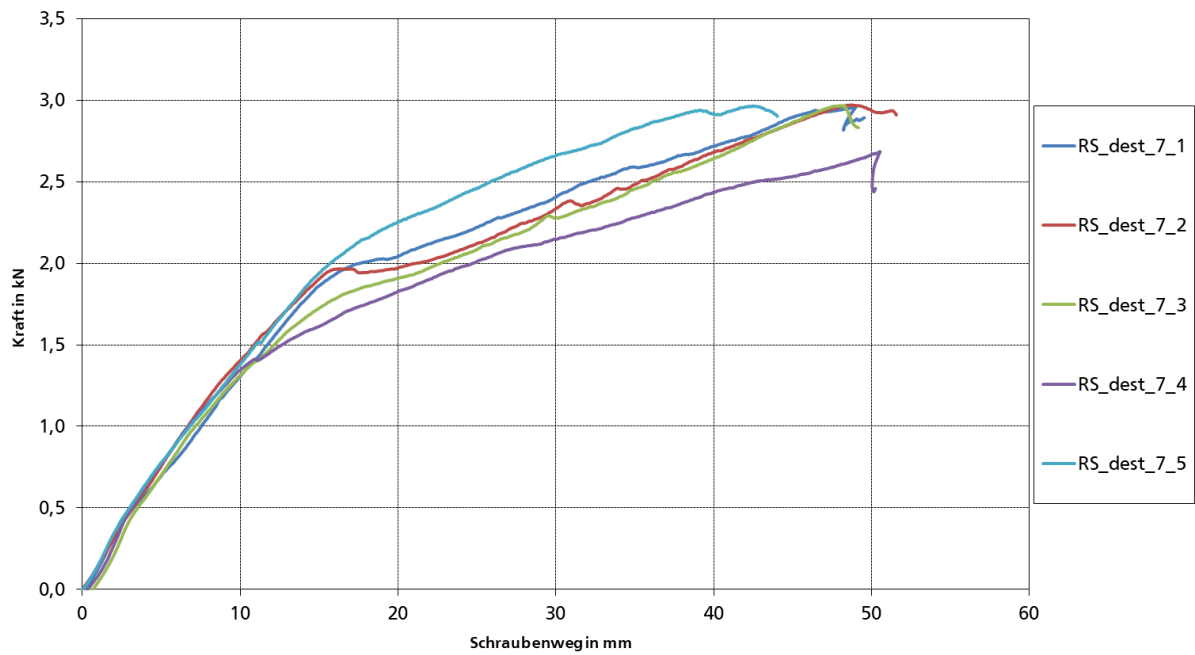


Bild 7.55: statische Auszugversuche

RS 6:

Parameter	
Sandwich:	ROMAKOWSKI (Mineralwolle, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 40$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	W_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
RS_dest_11_1	44,93	2,70	2,56	0,49	0,49	Tiefsicke, Knittern, Delamination, Durchknöpfen
RS_dest_11_2	43,57	2,63	2,49			Hochsicke, Knittern, Delamination, Durchknöpfen
RS_dest_11_3	53,70	2,72	2,57			
RS_dest_11_4	52,72	2,86	2,71			
RS_dest_11_5	43,67	2,92	2,77			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	2,77	2,62			
Standardabw.:	$s =$	0,04	0,04			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,48	2,35			

Belastung	zykl., n = 5000, 2,5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	W _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	Bemerkung
RS_dezy_12_1	0,5	1,38	0,14	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 3500 LW
RS_dezy_12_2	0,45	1,24	0,12	28,66	2,33	2,21	Hochsicke
RS_dezy_12_3				-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 3500 LW
RS_dezy_12_4	0,35	0,97	0,10	5,65	0,96	0,91	Tiefsicke, starke Schädigung nach 5000 LW, Grenzwert nicht erreicht
RS_dezy_12_5				10,36	1,32	1,25	Tiefsicke, Anriss an Bohrung, Grenzwert erreicht
RS_dezy_12_6				24,16	1,86	1,77	Tiefsicke
RS_dezy_12_7				25,34	1,73	1,64	Tiefsicke, Anriss an Bohrung, Grenzwert erreicht
RS_dezy_12_8	0,45	1,24	0,12	11,47	1,61	1,53	Hochsicke, Anriss an Bohrung, Grenzwert erreicht
RS_dezy_12_9				33,06	2,48	2,35	Hochsicke
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	1,64	1,55		
Standardabweichung:			s =	0,18	0,18		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	0,92	0,87		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	1,26		(für k = 0,35)	

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche in der Tiefsicke mit Lastfaktor $k = 0,35$ berücksichtigt (12_5 bis 12_7). Die Versuche in der Hochsicke erreichten einen Lastfaktor von $k = 0,45$.

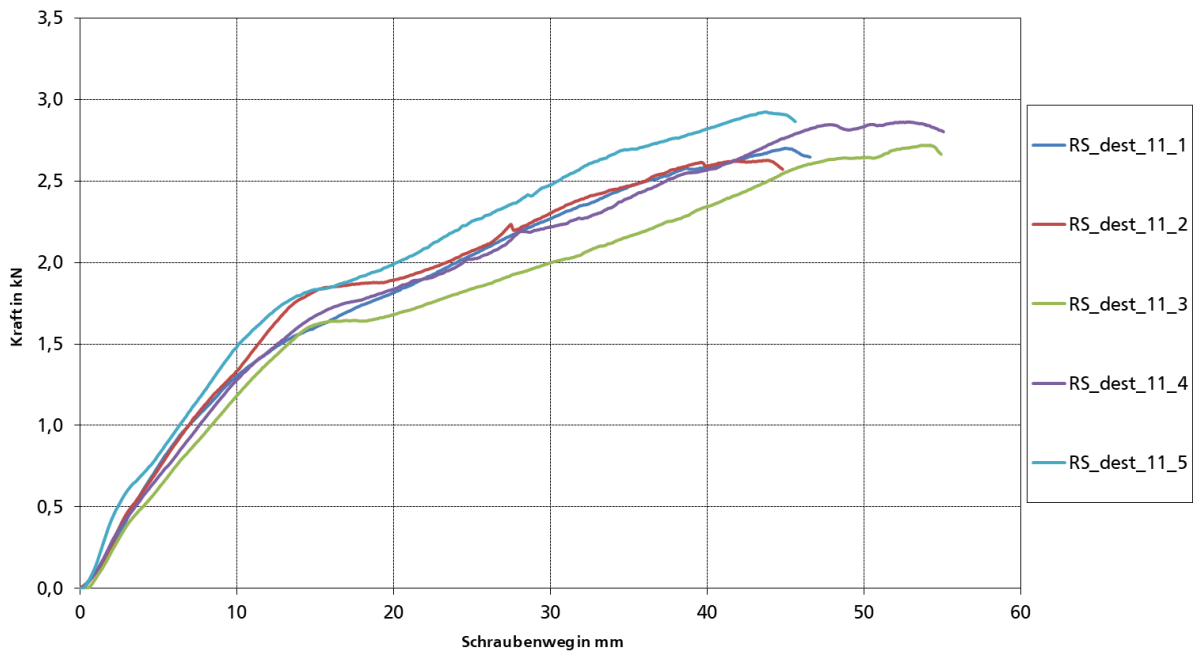


Bild 7.56: statische Auszugversuche

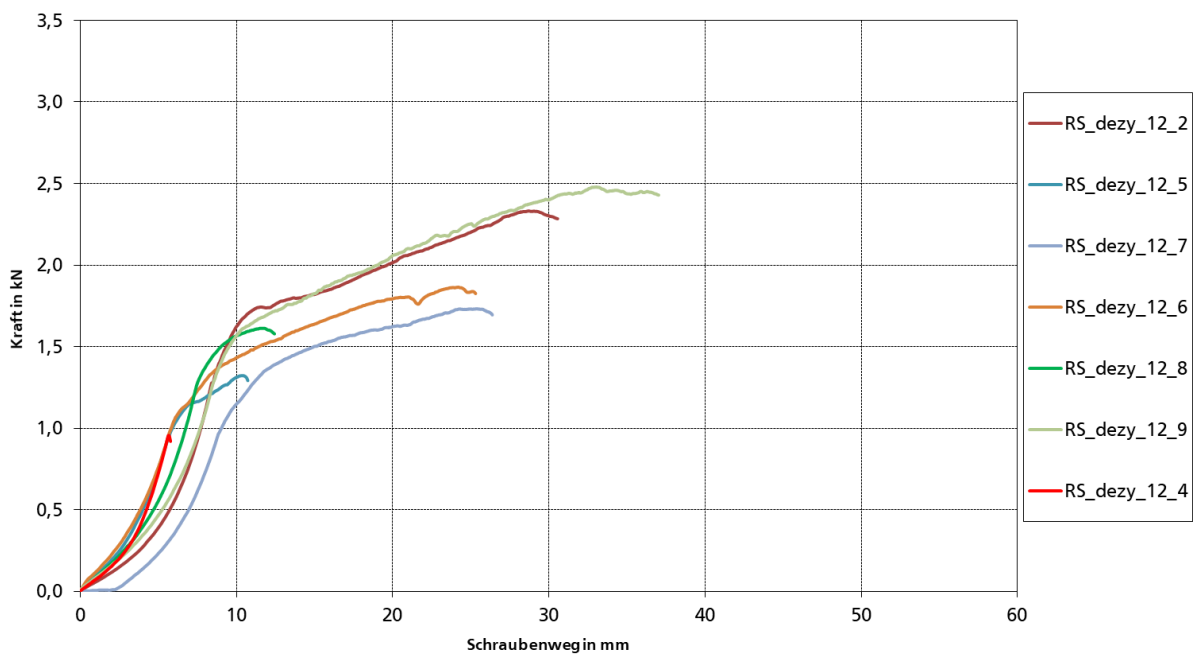


Bild 7.57: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.4 FE – FISCHER/EJOT

Es folgt die Darstellung der Versuchsergebnisse aus der Kombination des Elementherstellers FISCHER (PUR-Schaum) mit dem Schraubenhersteller EJOT getrennt nach Versuchen am Mittelaufleger und Endaufleger.

7.4.1 Mittelaufleger

Die Versuchskörper dieser Versuchsreihe versagten aufgrund von Durchknöpfen des Schraubenkopfes mitsamt der Unterlegscheibe durch das Deckblech. Bei allen Versuchen trat ein Durchschlagen der konisch geformten Unterlegscheibe bei geringer Last auf.

Während der zyklischen Belastung traten häufig Ermüdungsrisse an den benachbarten Sickenstegen auf, welche ein vorzeitiges Durchknöpfen auslösten oder bewirkten, dass der Grenzwert im anschließenden Auszugversuch nicht erreicht wurde. Dieser Effekt trat verstärkt bei einer Schraubenlage in der Hochsicke auf, weswegen ein Großteil der Versuche in dieser Lage durchgeführt wurde.

Durch die Wahl von $k = 0,4 - 0,45$ konnte die vorzeitige Rissbildung am Steg reduziert oder verhindert werden, sodass der erforderliche Grenzwert in der Regel eingehalten wurde. Bei einigen Versuchen wurde der Grenzwert trotz Rissbildung erreicht. Versuchsreihe FE 11 erzielte einen minimalen Lastfaktor von $k = 0,35$, allerdings lag der Mittelwert der statischen Versuche mit $F_{Rt,stat} = 5,04$ kN deutlich oberhalb der übrigen Versuchsreihen.

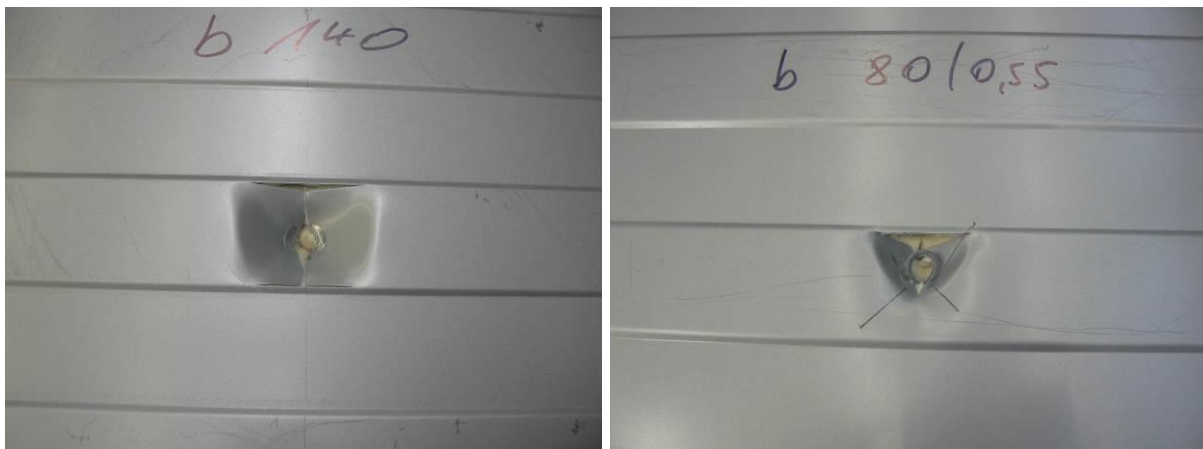


Bild 7.58: Durchknöpfen in Verbindung mit beidseitiger und einseitiger Rissbildung am Sickensteg

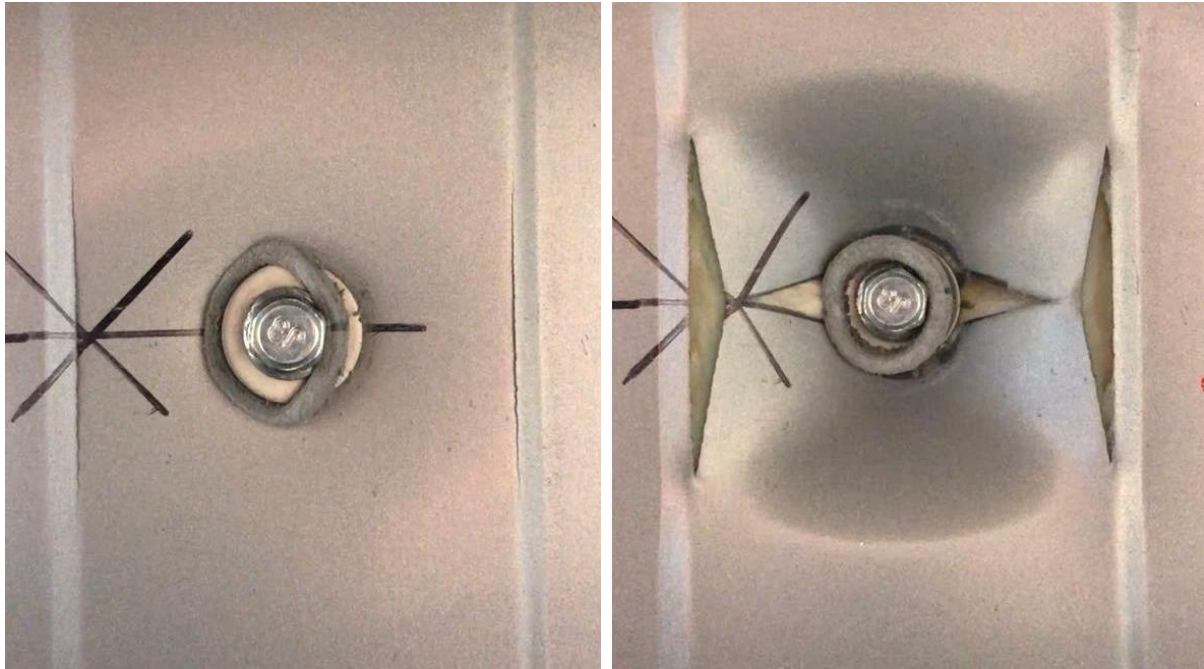


Bild 7.59: Probekörper mit Rissbildung unmittelbar nach zyklischer Belastung (links),
Versagensbild im Auszugversuch (rechts), Hochsicke

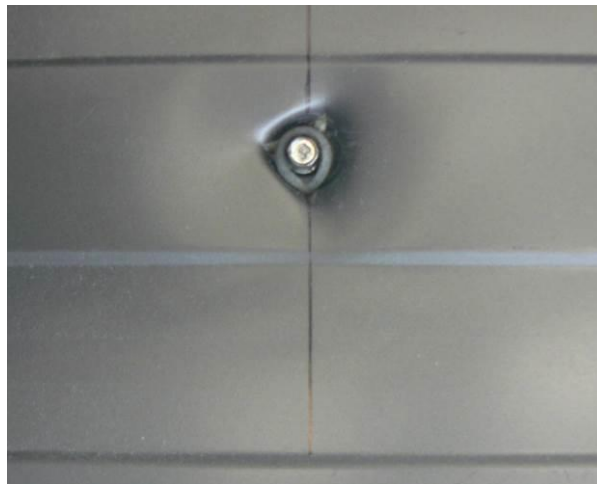


Bild 7.60: Durchknöpfversagen ohne Rissbildung nach
zyklischer Belastung

FE 1:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FE_dmst_1_1	13,93	4,46	4,46	0,57	0,44	Schraube im Übergang Hochsicke/Tiefsicke
FE_dmst_1_2	13,81	3,58	3,58			
FE_dmst_1_3	13,55	4,62	4,62			Schraube in Tiefsicke
FE_dmst_1_4	13,55	4,28	4,28			
FE_dmst_1_5	13,92	3,68	3,68			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,12	4,12			
Standardabw.:	$s =$	0,11	0,11			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,09	3,09			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	W _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	Bemerkung
FE_dmzy_2_1	0,5	2,06	0,21	-	-	-	Hochsicke, Riss am Sickensteg bei 2600 LW, Durchknöpfen bei 3200 LW
FE_dmzy_2_2	0,45	1,86	0,19	7,69	3,21	3,21	Schraube in Tiefsicke
FE_dmzy_2_3				10,04	3,91	3,91	
FE_dmzy_2_4				-	-	-	
FE_dmzy_2_5	0,425	1,75	0,18	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4900 LW
FE_dmzy_2_6	0,4	1,65	0,16	9,71	2,62	2,62	Schraube in Hochsicke
FE_dmzy_2_7				5,98	1,56	1,56	Hochsicke, Riss am Sickensteg bei 4500 LW, Grenzwert bei Auszug unterschritten
FE_dmzy_2_8				10,03	2,09	2,09	Hochsicke, Anriss am Steg, Grenzwert um 2,5 % unterschritten
FE_dmzy_2_9				9,16	2,27	2,27	Hochsicke, 1 cm Anriss am Steg, Grenzwert im Auszugversuch erreicht
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	2,33	2,33		
Standardabweichung:			s =	0,11	0,11		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	1,62	1,62		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	2,14			

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche in der Hochsicke mit Lastfaktor k = 0,4 berücksichtigt (2_6, 2_8 bis 2_9).

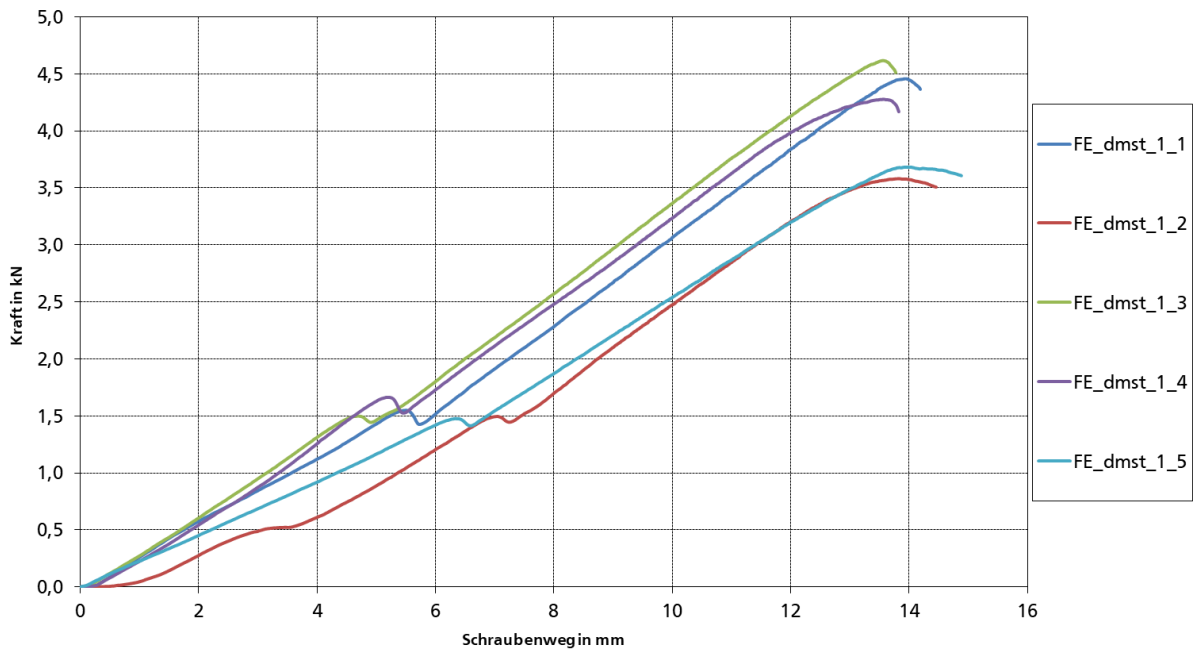


Bild 7.61: statische Auszugversuche

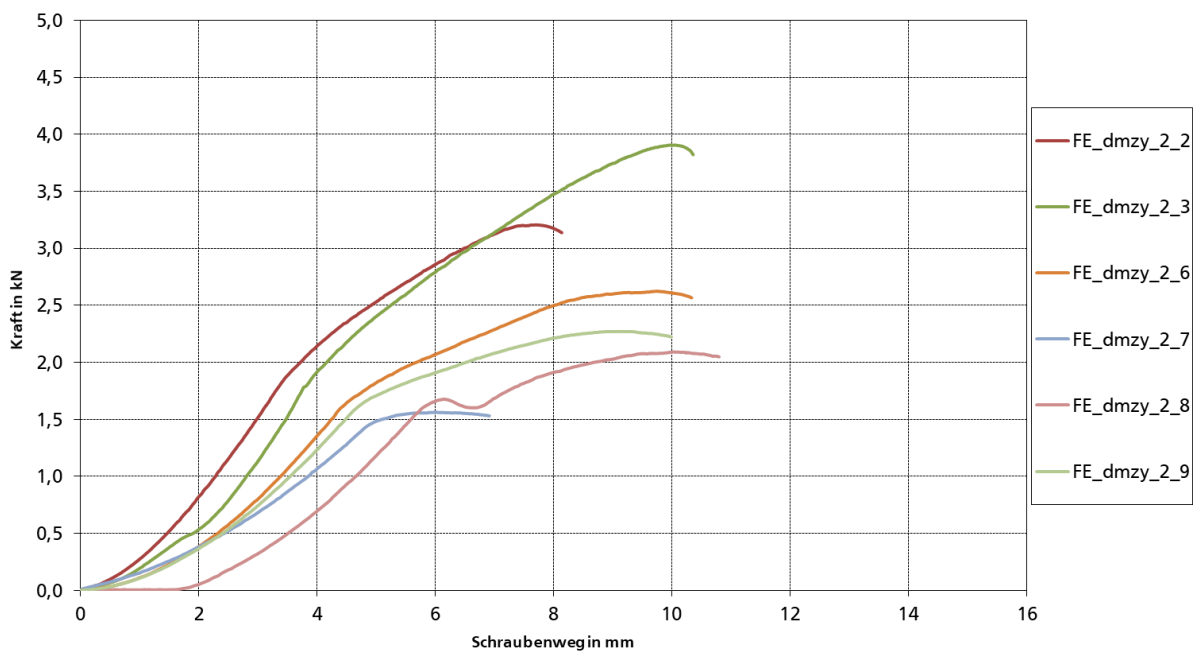


Bild 7.62: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FE 3:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FE_dmst_5_1	17,17	4,50	4,50	0,57	0,44	Schraube in Hochsicke
FE_dmst_5_2	16,12	4,49	4,49			
FE_dmst_5_3	15,99	4,47	4,47			
FE_dmst_5_4	15,97	4,44	4,44			
FE_dmst_5_5	16,22	4,57	4,57			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,50	4,50			
Standardabw.:	$s =$	0,01	0,01			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	4,38	4,38			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FE_dmzy_6_1	0,5	2,25	0,22	-	-	-	Hochsicke, Riss am Sickensteg bei 2500 LW, Durchknöpfen bei 3300 LW
FE_dmzy_6_2	0,45	2,02	0,20	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 3500 LW
FE_dmzy_6_3	0,4	1,80	0,18	12,98	3,28	3,28	Hochsicke
FE_dmzy_6_4				13,08	3,18	3,18	
FE_dmzy_6_5				-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 3700 LW
FE_dmzy_6_6				11,96	2,94	2,94	Hochsicke
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,13	3,13		
Standardabweichung:			$s =$	0,06	0,06		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	2,62	2,62		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,92			

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche in der Hochsicke mit Lastfaktor $k = 0,4$ berücksichtigt (6_3, 6_4, 6_6).

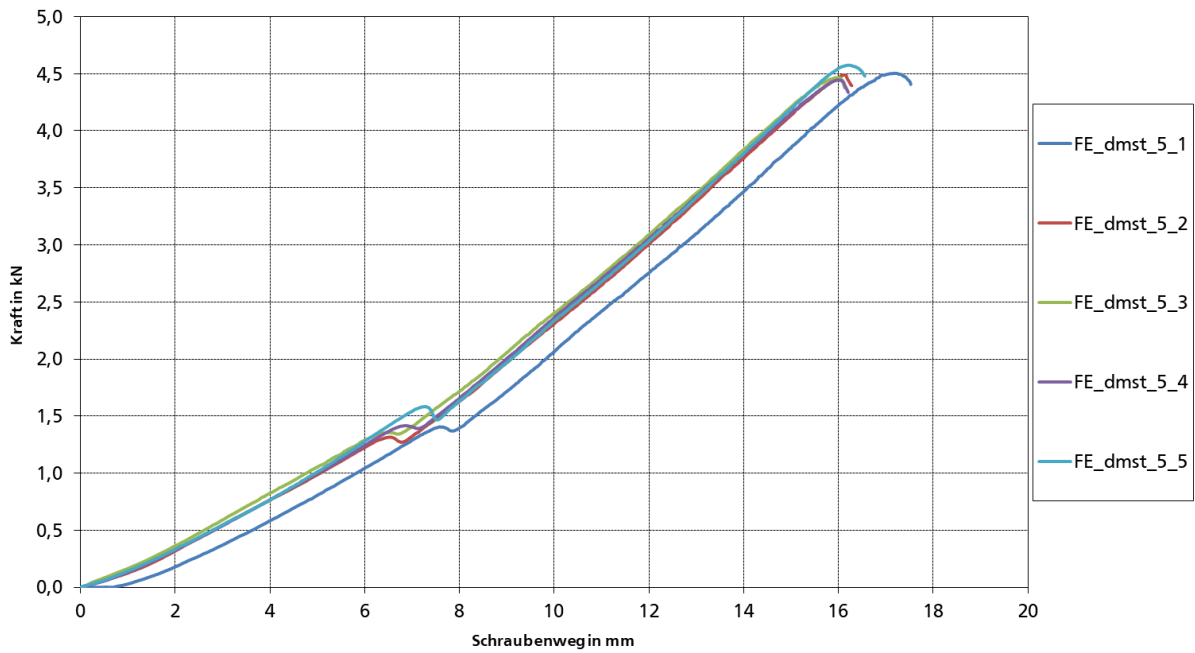


Bild 7.63: statische Auszugversuche

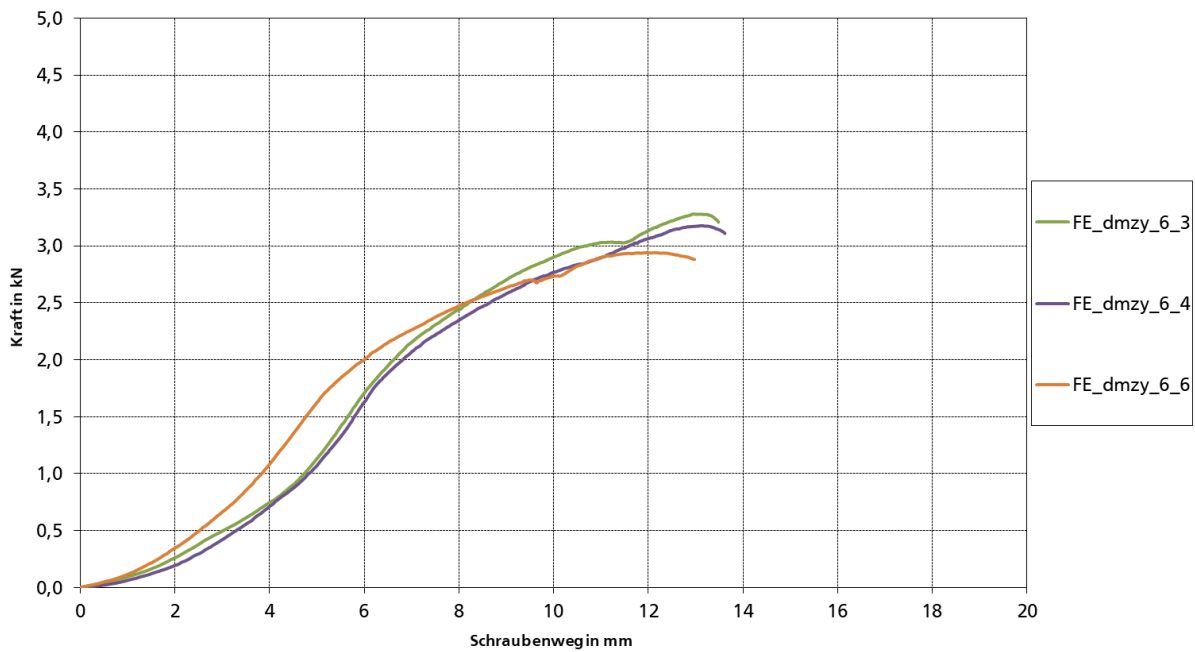


Bild 7.64: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FE 5:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,55$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FE_dmst_9_1	14,96	3,67	3,67	0,50	0,44	Schraube in Hochsicke
FE_dmst_9_2	15,62	3,54	3,54			
FE_dmst_9_3	14,83	3,51	3,51			
FE_dmst_9_4	16,94	3,73	3,73			
FE_dmst_9_5	14,57	3,47	3,47			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,58	3,58			
Standardabw.:	$s =$	0,03	0,03			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,32	3,32			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FE_dmzy_10_1	0,5	1,79	0,18	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4300 LW
FE_dmzy_10_2				-	-	-	Hochsicke, Anriss am Sickensteg bei 4000 LW, Durchknöpfen bei 4900 LW
FE_dmzy_10_3	0,45	1,61	0,16	11,53	2,97	2,97	Schraube in Hochsicke, Versagen: Durchknöpfen und Anriss am Sickensteg
FE_dmzy_10_4				9,70	2,78	2,78	
FE_dmzy_10_5				9,91	2,72	2,72	
FE_dmzy_10_6				7,57	2,20	2,20	
FE_dmzy_10_7				14,08	3,54	3,54	
FE_dmzy_10_8				10,28	2,60	2,60	
Mittelwert:				$F_{Rt,dyn} =$	2,80	2,80	
Standardabweichung:				$s =$	0,16	0,16	
5 %-Fraktilwert:				$F_{Rtk,dyn} =$	1,92	1,92	
Grenzwert Resttragfähigkeit:				$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,10		(für k = 0,45)

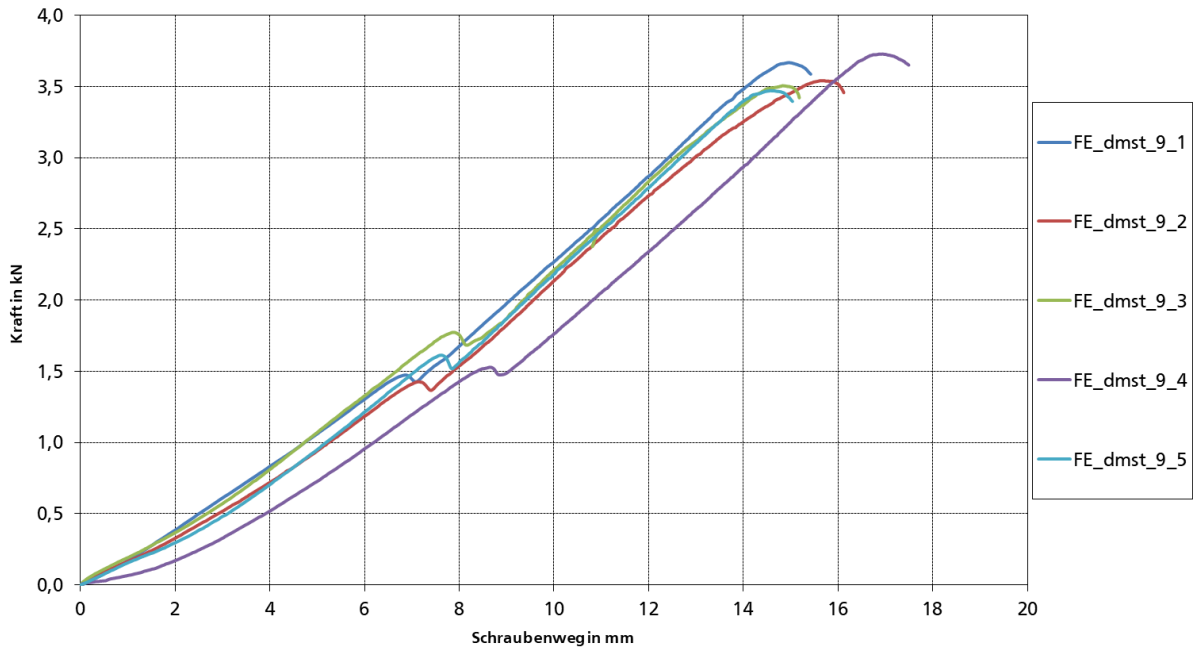


Bild 7.65: statische Auszugversuche

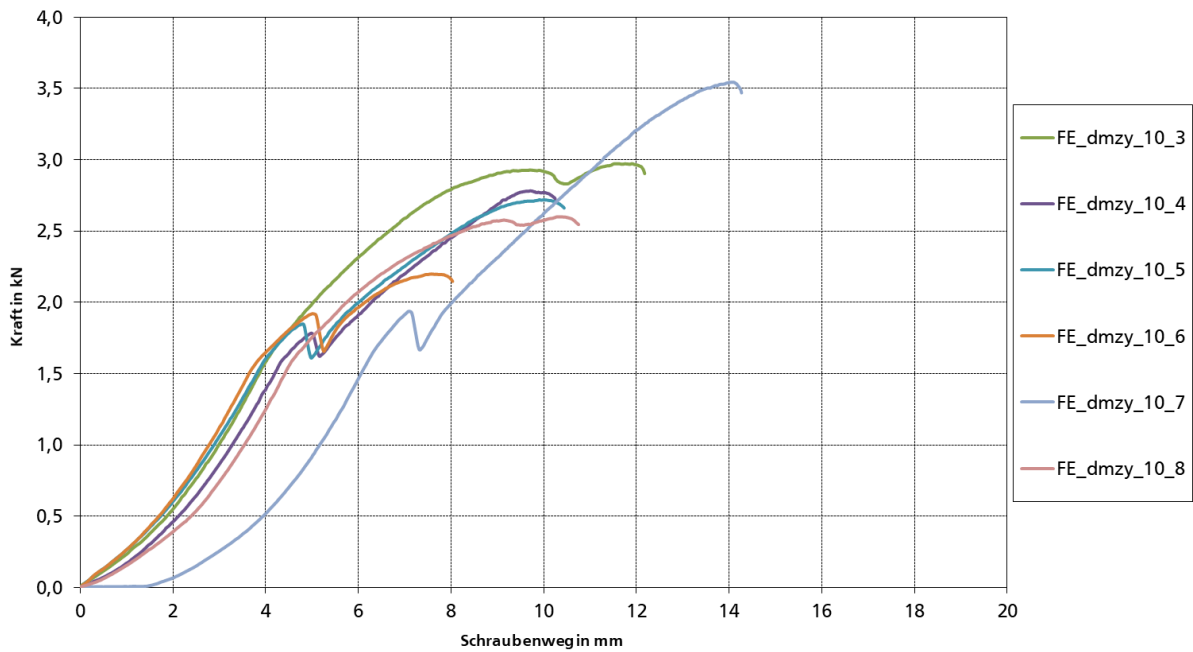


Bild 7.66: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FE 7:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,55$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FE_dmst_13_1	15,98	3,88	3,88	0,50	0,44	Schraube in Hochsicke
FE_dmst_13_2	14,02	3,27	3,27			
FE_dmst_13_3	14,70	3,45	3,45			
FE_dmst_13_4	16,75	4,09	4,09			
FE_dmst_13_5	15,99	4,00	4,00			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,74	3,74			
Standardabw.:	$s =$	0,10	0,10			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,93	2,93			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FE_dmzy_14_1	0,5	1,87	0,19	-	-	-	Hochsicke, Anriss am Sickensteg bei 2800 LW, Durchknöpfen bei 4100 LW
FE_dmzy_14_2	0,45	1,68	0,17	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4700 LW
FE_dmzy_14_3	0,4	1,50	0,15	10,52	2,37	2,37	Hochsicke, Riss am Sickensteg nach zykl. Belastung
FE_dmzy_14_4				8,96	1,92	1,92	
FE_dmzy_14_5				9,87	2,50	2,50	Hochsicke
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$		2,26	2,26	
Standardabweichung:			$s =$		0,14	0,14	
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$		1,44	1,44	
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$		1,94		(für k = 0,40)

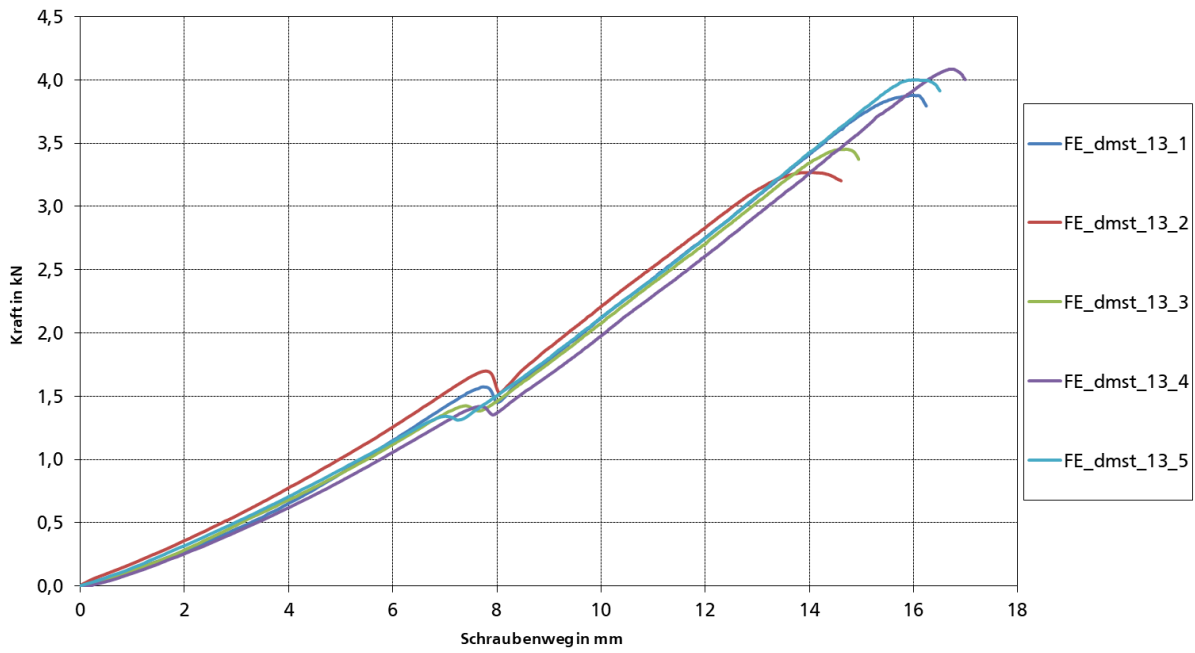


Bild 7.67: statische Auszugversuche

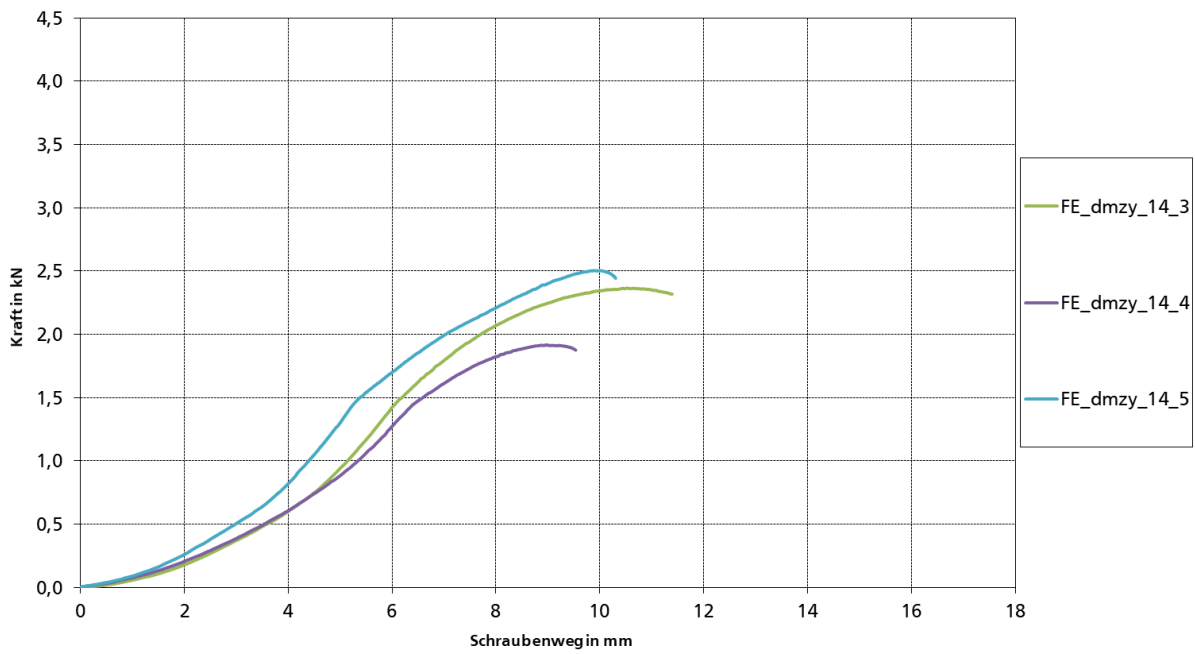


Bild 7.68: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FE 9:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FE_dmst_17_1	15,38	4,43	4,43	0,57	0,44	Schraube in Hochsicke
FE_dmst_17_2	18,66	4,64	4,64			
FE_dmst_17_3	16,02	4,86	4,86			Schraube in Tiefsicke
FE_dmst_17_4	14,30	4,33	4,33			
FE_dmst_17_5	16,29	4,18	4,18			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,49	4,49			
Standardabw.:	$s =$	0,06	0,06			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,87	3,87			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	W _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	Bemerkung
FE_dmzy_18_1	0,5	2,24	0,22	11,25	2,70	2,70	Hochsicke, Riss am Sickensteg nach 4300 LW, Grenzwert nicht eingehalten
FE_dmzy_18_2	0,45	2,02	0,20	13,83	4,73	4,73	Schraube in Tiefsicke
FE_dmzy_18_3				12,22	4,77	4,77	
FE_dmzy_18_4				-	-	-	Hochsicke, Anriss am Sickensteg und Durchknöpfen bei 3050 LW
FE_dmzy_18_5				13,83	4,89	4,89	Schraube in Tiefsicke
FE_dmzy_18_6				11,63	3,58	3,58	Hochsicke, Anriss am Sickensteg während zykl. Belastung, Grenzwert erreicht
FE_dmzy_18_7				0,4	1,79	0,18	11,48
FE_dmzy_18_8	0,45	2,02	0,20	8,86	2,65	2,65	Hochsicke, Anriss am Sickensteg während zykl. Belastung, Grenzwert erreicht
FE_dmzy_18_9				11,30	3,87	3,87	
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	3,37	3,37		
Standardabweichung:			s =	0,20	0,20		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	1,76	1,76		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	2,63		(für k = 0,45)	

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche in der Hochsicke mit Lastfaktor $k = 0,45$ berücksichtigt (18_6, 18_8, 18_9).

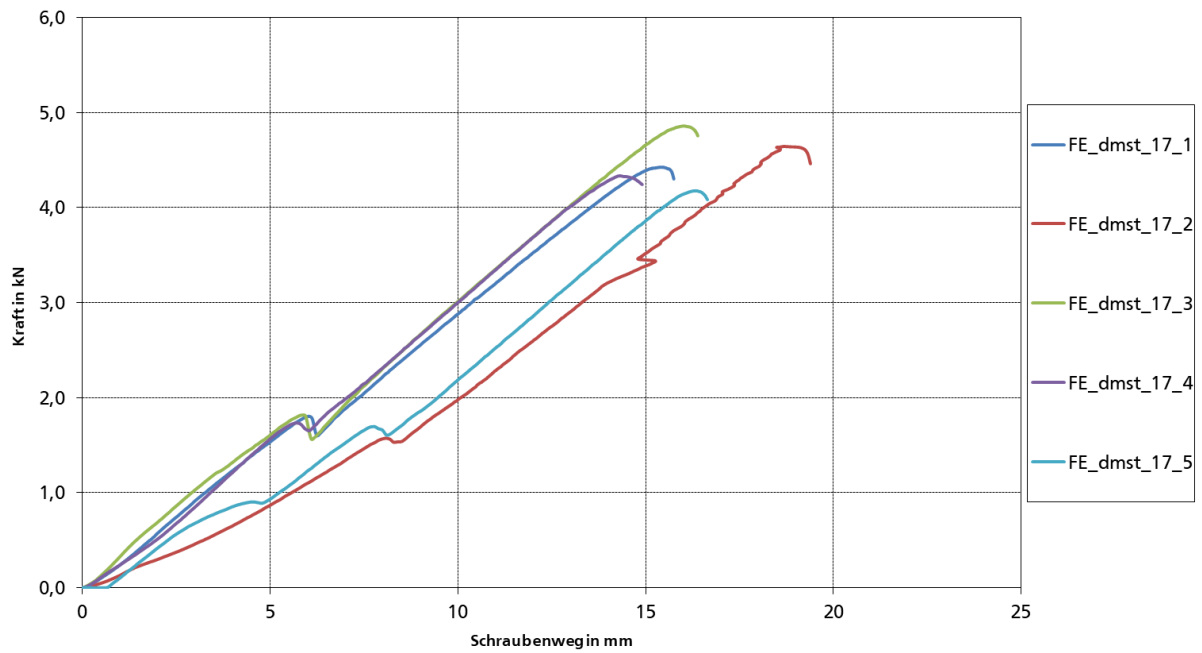


Bild 7.69: statische Auszugversuche

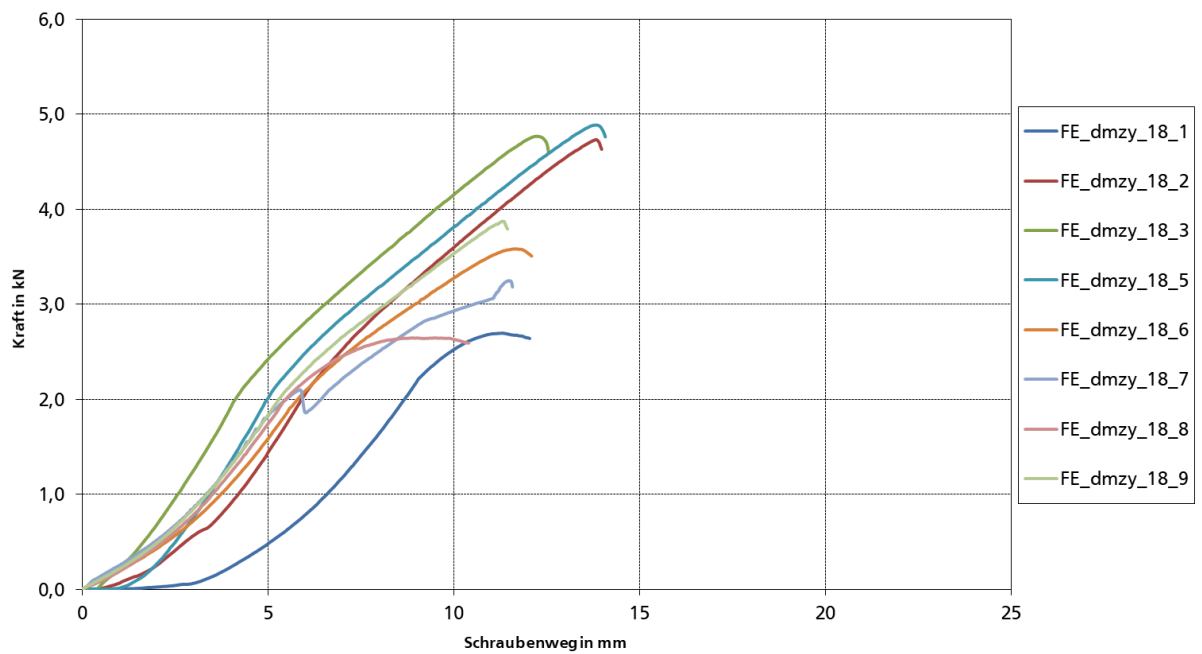


Bild 7.70: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FE 11:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	W_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FE_dmst_21_1	20,26	5,12	5,12	0,57	0,44	Schraube in Hochsicke
FE_dmst_21_2	20,15	5,20	5,20			
FE_dmst_21_3	21,11	5,33	5,33			
FE_dmst_21_4	19,28	4,78	4,78			
FE_dmst_21_5	19,56	4,77	4,77			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	5,04	5,04			
Standardabw.:	$s =$	0,05	0,05			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	4,45	4,45			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	W_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FE_dmzy_22_1	0,5	2,52	0,25	-	-	-	Hochsicke, Anriss am Sickensteg und Durchknöpfen bei 2600 LW
FE_dmzy_22_2	0,4	2,02	0,20	9,99	2,33	2,33	Hochsicke, Anriss am Sickensteg nach zykl. Belastung, Grenzwert nicht erreicht
FE_dmzy_22_3				7,82	2,49	2,49	
FE_dmzy_22_4	0,375	1,89	0,19	11,04	2,37	2,37	
FE_dmzy_22_5	0,35	1,76	0,18	12,92	3,07	3,07	Hochsicke
FE_dmzy_22_6				15,51	3,32	3,32	
FE_dmzy_22_7				13,84	3,12	3,12	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,17	3,17		
Standardabweichung:			$s =$	0,04	0,04		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	2,78	2,78		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,29			(für k = 0,35)

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche in der Hochsicke mit Lastfaktor $k = 0,35$ berücksichtigt (22_5 bis 22_7).

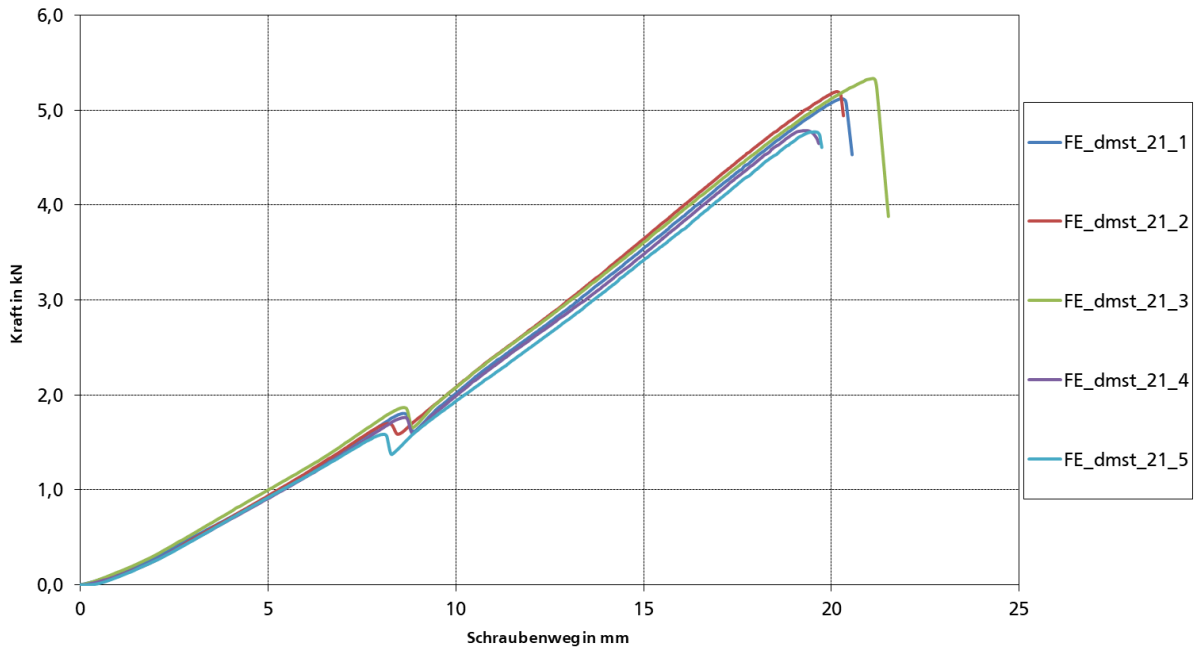


Bild 7.71: statische Auszugversuche

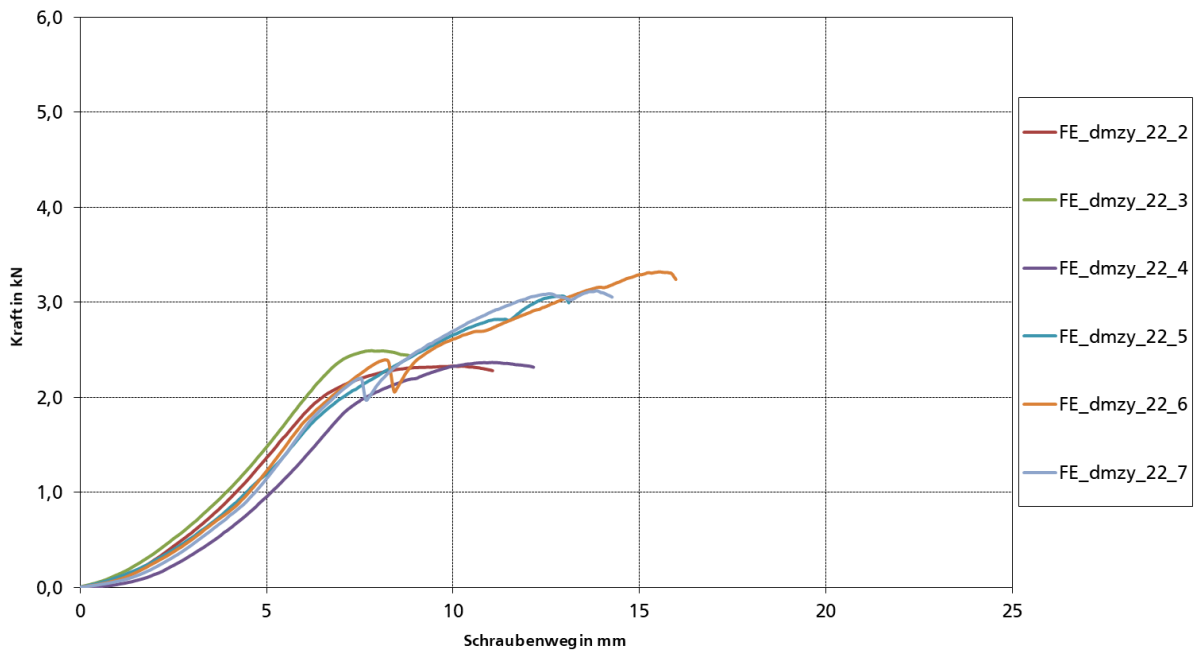


Bild 7.72: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.4.2 Endauflager

Die Versuche wurden mit einem Randabstand von 20 mm (FE 2, FE 4) und 40 mm (FE 6, FE 8, FE 10, FE 12) durchgeführt.

In den statischen Versuchen mit Randabstand 20 mm erfolgte das Versagen durch Durchknöpfen und Durchreißen des Deckblechs zum Elementrand. In den zugehörigen zyklischen Versuchen bildeten sich häufig Risse an den benachbarten Sickenstegen aus, welche sich im anschließenden Auszugversuch weiter öffneten. Die zyklischen Versuche wurden in der Hochsicke durchgeführt. Ein minimaler Lastfaktor von $k = 0,35$ wurde erreicht.

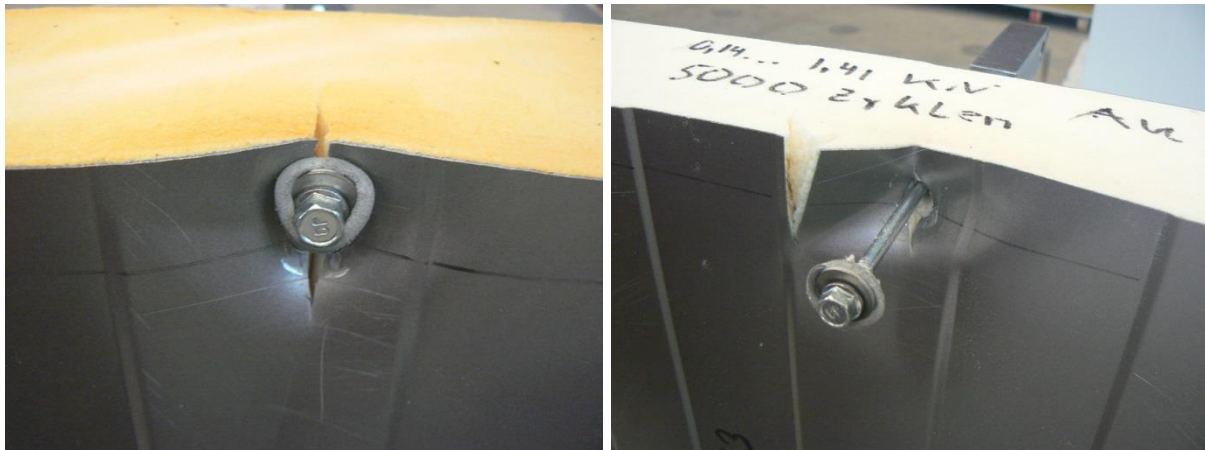


Bild 7.73: Versagensbild im statischen Versuch (links) und zyklischen Versuch (rechts), $e = 20$ mm

In den statischen Versuchen mit Randabstand 40 mm erfolgte das Versagen durch Durchknöpfen und der Ausbildung einer Kerbe zwischen Bohrung und Elementrand. In den zugehörigen zyklischen Versuchen bildeten sich vor dem Durchknöpfen ebenfalls Kerben zwischen Bohrung und Elementrand aus. Teilweise traten Risse an den Sickenstegen auf. Es zeigte sich, dass die Versuche in der Tiefsicke tendenziell geringere Tragfähigkeiten ergaben. Dabei wurde ein minimaler Lastfaktor von $k = 0,3$ erreicht.



Bild 7.74: Kerbenbildung (links), Rissbildung während zyklischer Belastung (rechts), $e = 40$ mm

FE 2:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchs-lage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FE_dest_3_1	29,56	3,59	3,59	0,57	0,44	Schraube in Hochsicke
FE_dest_3_2	26,61	3,39	3,39			
FE_dest_3_3	23,15	3,55	3,55			
FE_dest_3_4	22,63	3,59	3,59			
FE_dest_3_5	27,49	3,49	3,49			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,52	3,52			
Standardabw.:	$s =$	0,02	0,02			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,32	3,32			

Belastung	zykl., $n = 5000, 4$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FE_dezy_4_1	0,5	1,76	0,18	-	-	-	Hochsicke, Risse am Steg bei 2000 LW, Abbruch bei 3000 LW
FE_dezy_4_2	0,4	1,41	0,14	17,23	2,66	2,66	Hochsicke, Anriss nach zykl. Belastung, Grenzwert erreicht
FE_dezy_4_3				-	-	-	Hochsicke, Versagen des Deckblechs während zykl. Belastung
FE_dezy_4_4	0,35	1,23	0,12	19,47	3,13	3,13	Hochsicke
FE_dezy_4_5				22,58	2,97	2,97	Hochsicke, Anrisse im Sickensteg nach zykl. Belastung, Grenzwert erreicht
FE_dezy_4_6				14,12	2,33	2,33	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$		2,81	2,81	
Standardabweichung:			$s =$		0,16	0,16	
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$		1,70	1,70	
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$		1,60		(für $k = 0,35$)

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche in der Hochsicke mit Lastfaktor $k = 0,35$ berücksichtigt (4_4 bis 4_6).

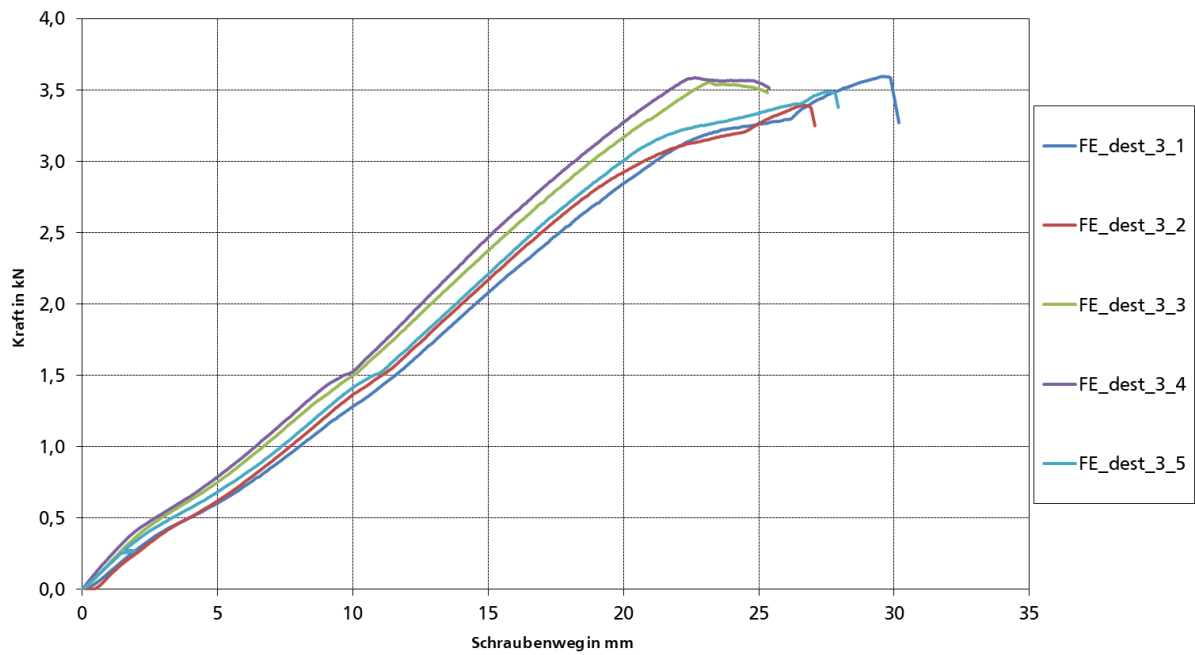


Bild 7.75: statische Auszugversuche

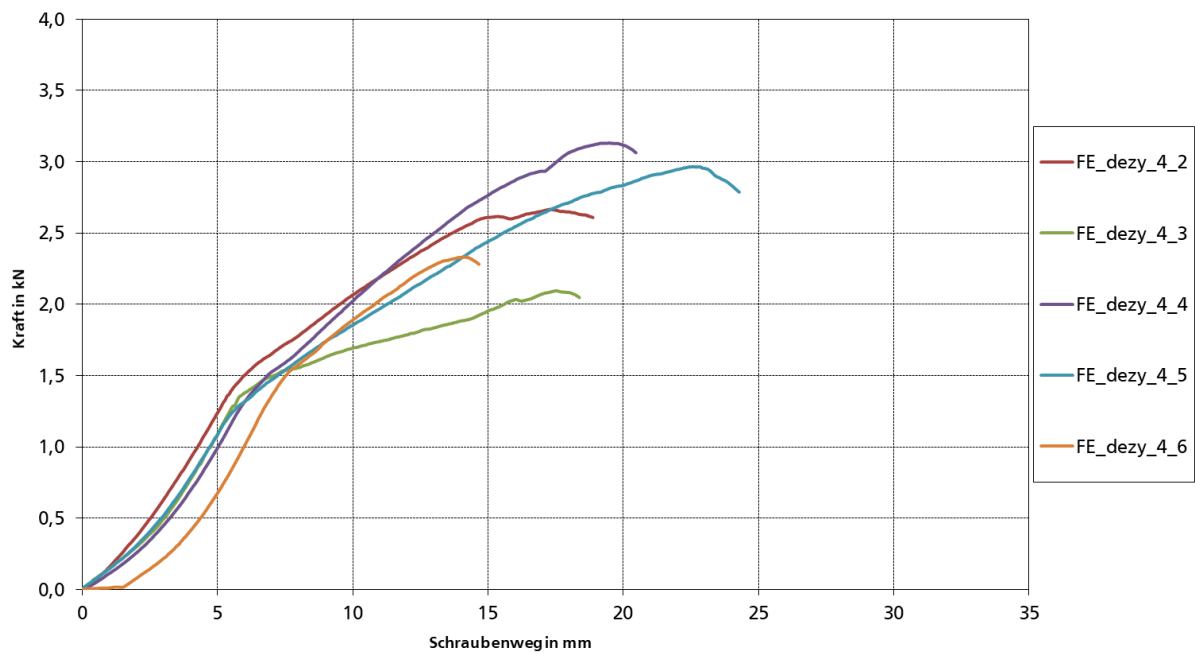


Bild 7.76: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FE 4:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FE_dest_7_1	22,25	3,49	3,49	0,57	0,44	Schraube in Hochsicke
FE_dest_7_2	27,23	3,51	3,51			
FE_dest_7_3	27,50	3,41	3,41			
FE_dest_7_4	27,03	3,37	3,37			
FE_dest_7_5	26,58	3,47	3,47			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,45	3,45			
Standardabw.:	$s =$	0,02	0,02			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,31	3,31			

Belastung	zykl., $n = 5000, 4$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FE_dezy_8_1	0,50	1,73	0,17	-	-	-	Hochsicke, 60 mm Riss am Steg nach zykl. Belastung, kein Auszugversuch
FE_dezy_8_2	0,40	1,38	0,14	10,87	2,11	2,11	Hochsicke, Risse an Stegen nach zykl. Belastung, Grenzwert erreicht
FE_dezy_8_3				21,28	2,28	2,28	
FE_dezy_8_4				13,65	2,80	2,80	Hochsicke
FE_dezy_8_5				25,58	2,72	2,72	Hochsicke, Risse an Stegen nach zykl. Belastung, Grenzwert erreicht
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	2,48	2,48		
Standardabweichung:			$s =$	0,14	0,14		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	1,71	1,71		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	1,80		(für $k = 0,4$)	

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche in der Hochsicke mit Lastfaktor $k = 0,4$ berücksichtigt (8_2 bis 8_5).

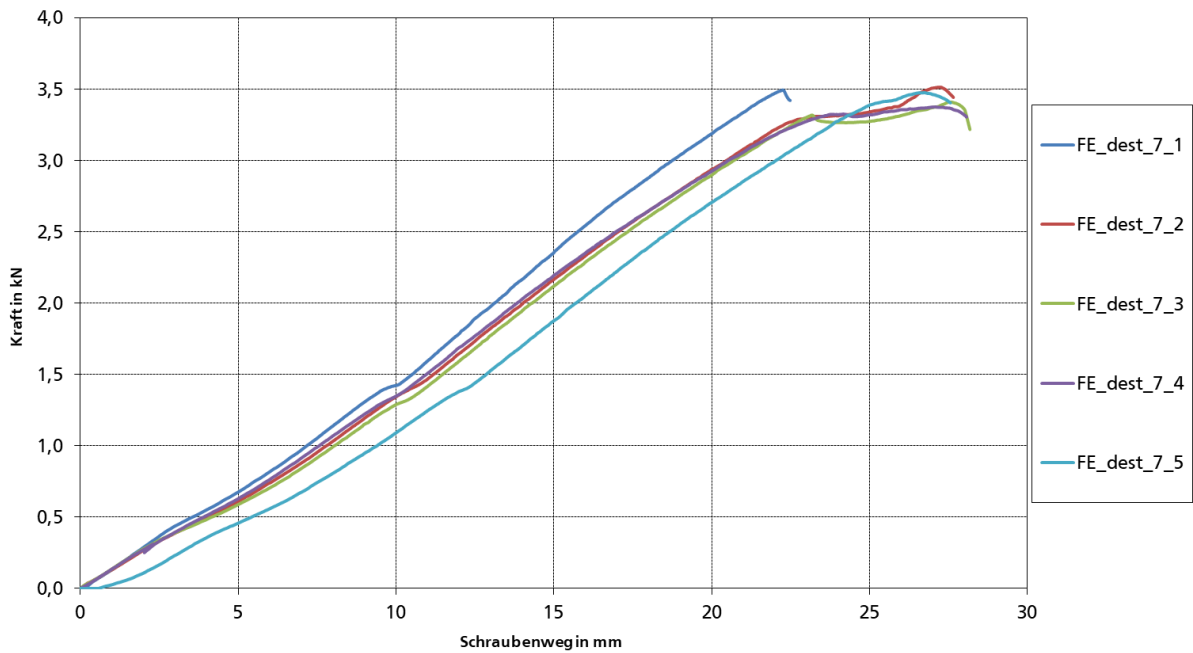


Bild 7.77: statische Auszugversuche

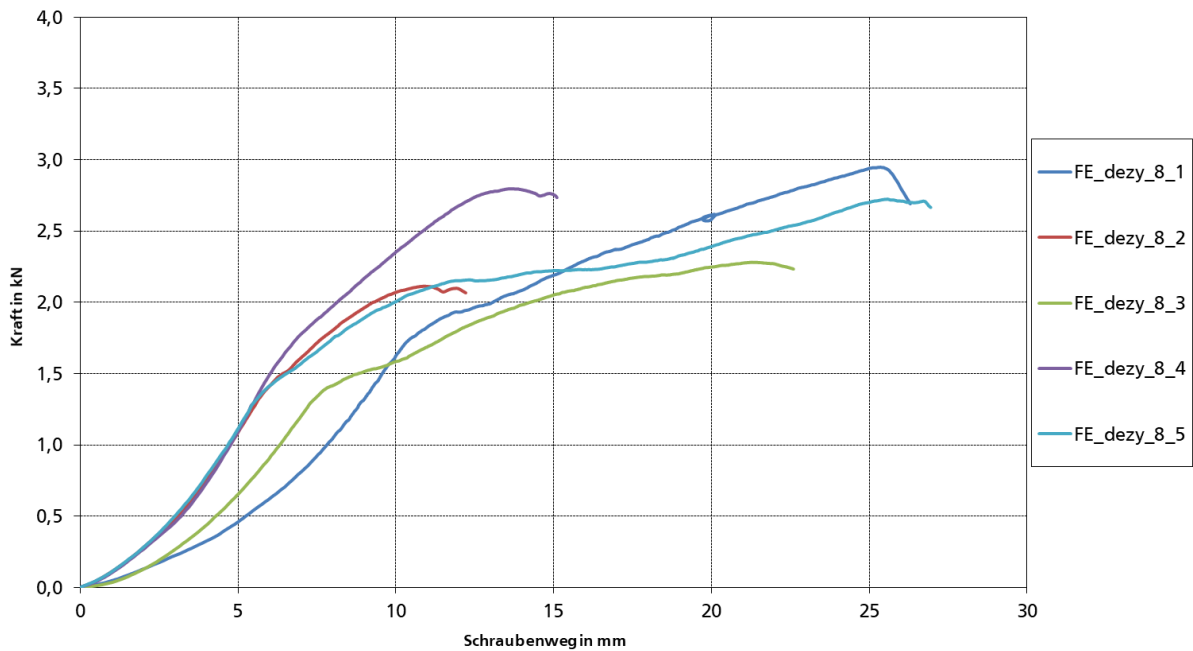


Bild 7.78: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FE 6:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,55$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 40$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FE_dest_11_1	26,62	3,57	3,57	0,50	0,44	Schraube in Hochsicke
FE_dest_11_2	24,23	3,58	3,58			
FE_dest_11_3	27,93	3,76	3,76			
FE_dest_11_4	22,33	3,50	3,50			
FE_dest_11_5	23,37	3,61	3,61			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,61	3,61			
Standardabw.:	$s =$	0,03	0,03			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,38	3,38			

Belastung	zykl., $n = 5000, 4$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FE_dezy_12_1	0,5	1,80	0,18	15,09	3,17	3,17	Hochsicke, Bildung einer Kerbe zwischen Bohrung und Elementrand während zykl. Belastung
FE_dezy_12_2				16,28	3,18	3,18	
FE_dezy_12_3				14,43	2,85	2,85	
FE_dezy_12_4				17,18	3,56	3,56	
FE_dezy_12_5				13,19	3,01	3,01	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,15	3,15		
Standardabweichung:			$s =$	0,08	0,08		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	2,57	2,57		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,34			

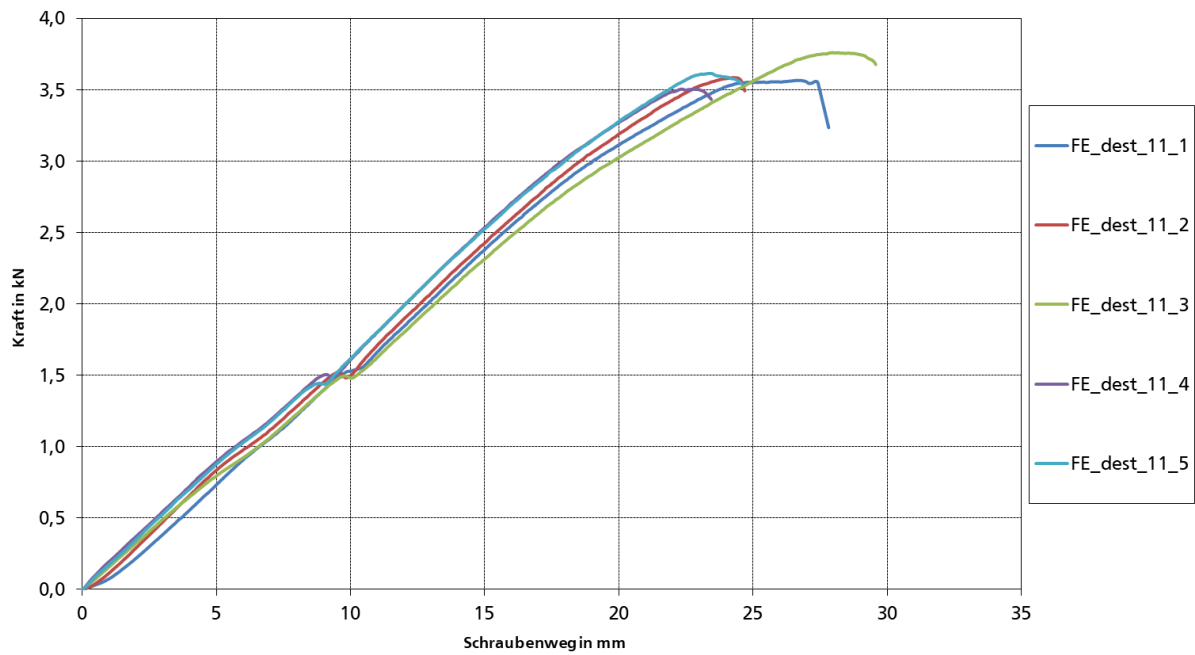


Bild 7.79: statische Auszugversuche

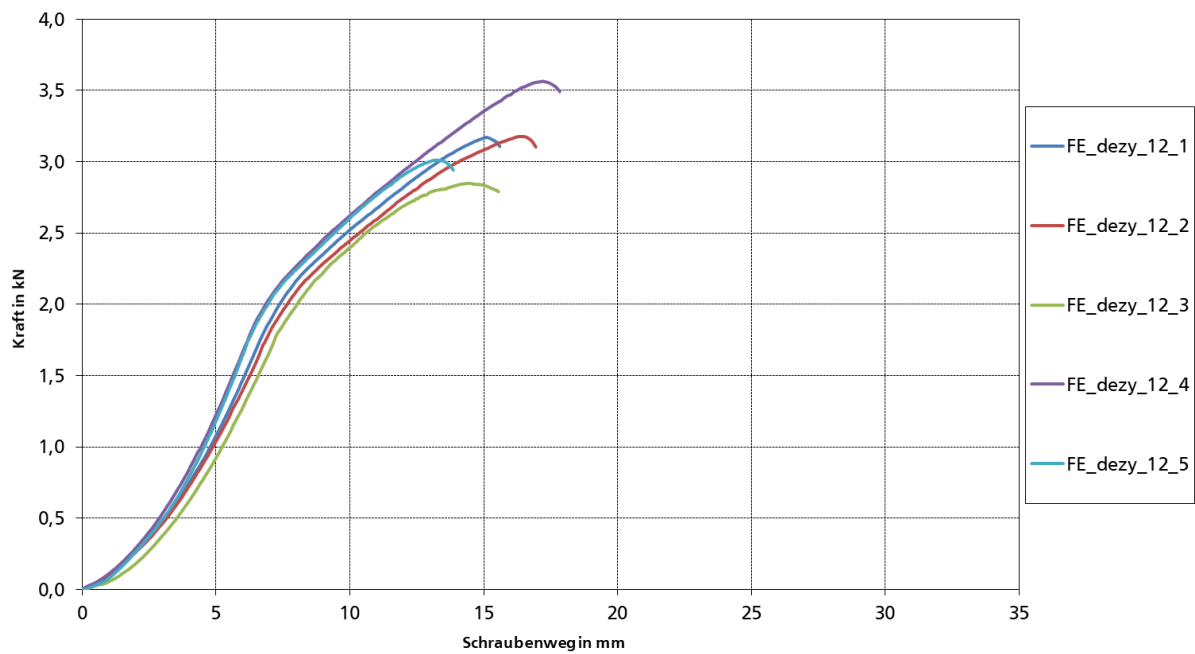


Bild 7.80: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FE 8:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,55$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 40$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FE_dest_15_1	24,59	3,57	3,57	0,50	0,44	Schraube in Hochsicke
FE_dest_15_2	27,25	3,84	3,84			
FE_dest_15_3	25,49	3,80	3,80			
FE_dest_15_4	27,91	3,71	3,71			
FE_dest_15_5	24,24	3,48	3,48			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,68	3,68			
Standardabw.:	$s =$	0,04	0,04			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,32	3,32			

Belastung	zykl., $n = 5000, 4$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FE_dezy_16_1	0,5	1,84	0,18	20,55	3,58	3,58	Hochsicke, Kerbe zwischen Bohrung und Elementrand
FE_dezy_16_2				-	-	-	Tiefsicke, Durchkn. nach 3300 LW
FE_dezy_16_3				-	-	-	Tiefsicke, Durchkn. nach 3100 LW
FE_dezy_16_4	0,4	1,47	0,15	-	-	-	Tiefsicke, Durchkn. nach 4100 LW
FE_dezy_16_5	0,35	1,29	0,13	-	-	-	Tiefsicke, Durchkn. bei 5000 LW
FE_dezy_16_6	0,3	1,10	0,11	17,98	2,53	2,53	Tiefsicke
FE_dezy_16_7				16,48	2,36	2,36	
FE_dezy_16_8				17,94	2,51	2,51	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	2,47	2,47		
Standardabweichung:			$s =$	0,04	0,04		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	2,18	2,18		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	1,44		(für $k = 0,3$)	

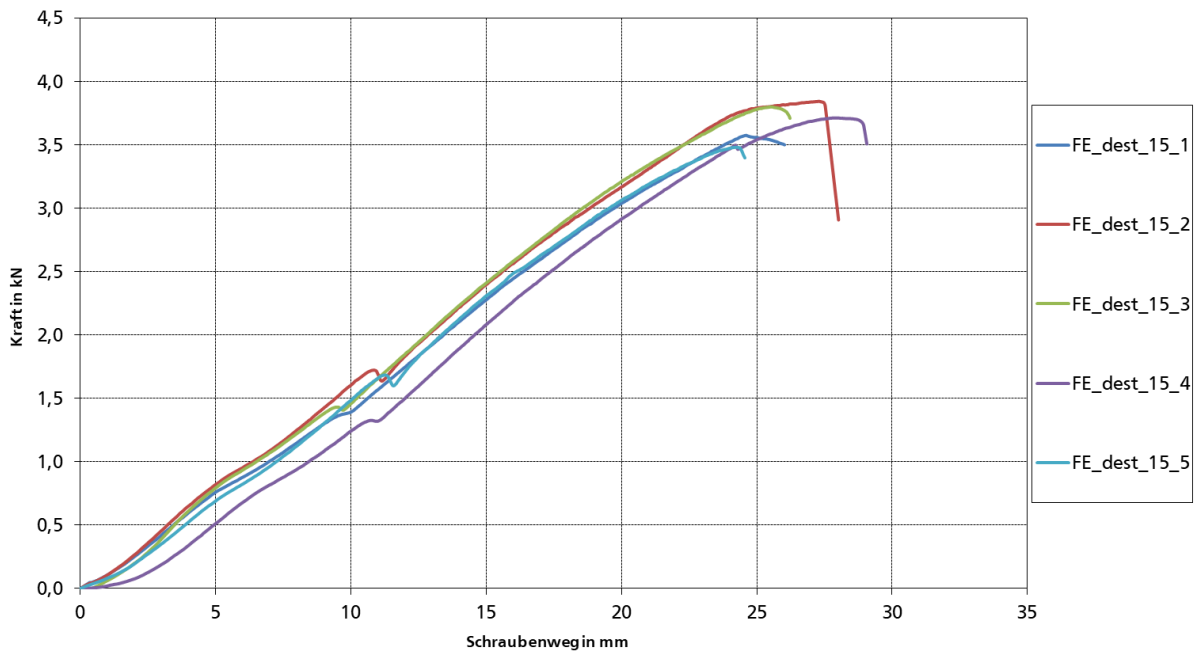


Bild 7.81: statische Auszugversuche

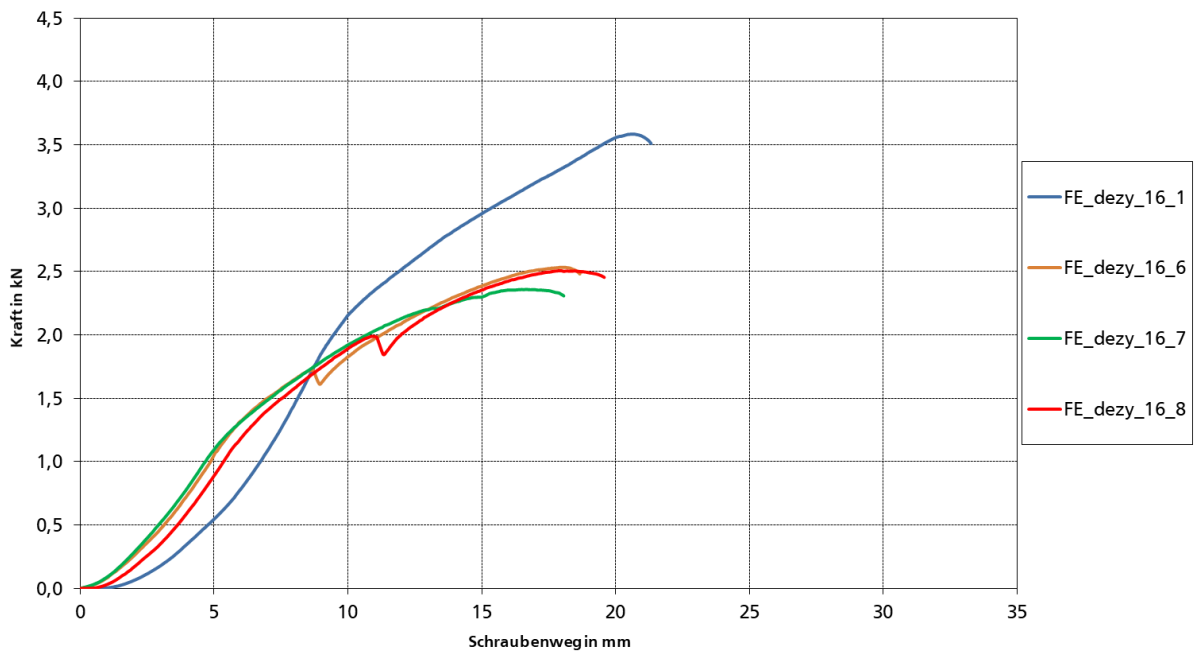


Bild 7.82: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FE 10:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 40$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FE_dest_19_1	29,42	4,40	4,40	0,57	0,44	Schraube in Hochsicke
FE_dest_19_2	28,00	4,28	4,28			Schraube in Tiefsicke
FE_dest_19_3	31,18	4,36	4,36			Schraube in Hochsicke
FE_dest_19_4	33,12	4,88	4,88			
FE_dest_19_5	26,14	4,15	4,15			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,42	4,42			
Standardabw.:	$s =$	0,06	0,06			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,79	3,79			

Belastung	zykl., $n = 5000, 4$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FE_dezy_20_1	0,5	2,21	0,22	-	-	-	Hochsicke, Steganriss nach 4200 LW, kein Auszugversuch möglich
FE_dezy_20_2	0,4	1,77	0,18	21,66	4,10	4,10	Hochsicke
FE_dezy_20_3				20,29	3,70	3,70	
FE_dezy_20_4	0,35	1,55	0,15	22,32	3,87	3,87	Tiefsicke
FE_dezy_20_5				26,56	4,30	4,30	
FE_dezy_20_6				15,46	3,05	3,05	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$		3,74	3,74	
Standardabweichung:			$s =$		0,18	0,18	
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$		2,12	2,12	
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$		2,01		(für $k = 0,35$)

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche in der Tiefsicke mit Lastfaktor $k = 0,35$ berücksichtigt. In der Hochsicke wurde ein Lastfaktor von $k = 0,4$ erreicht.

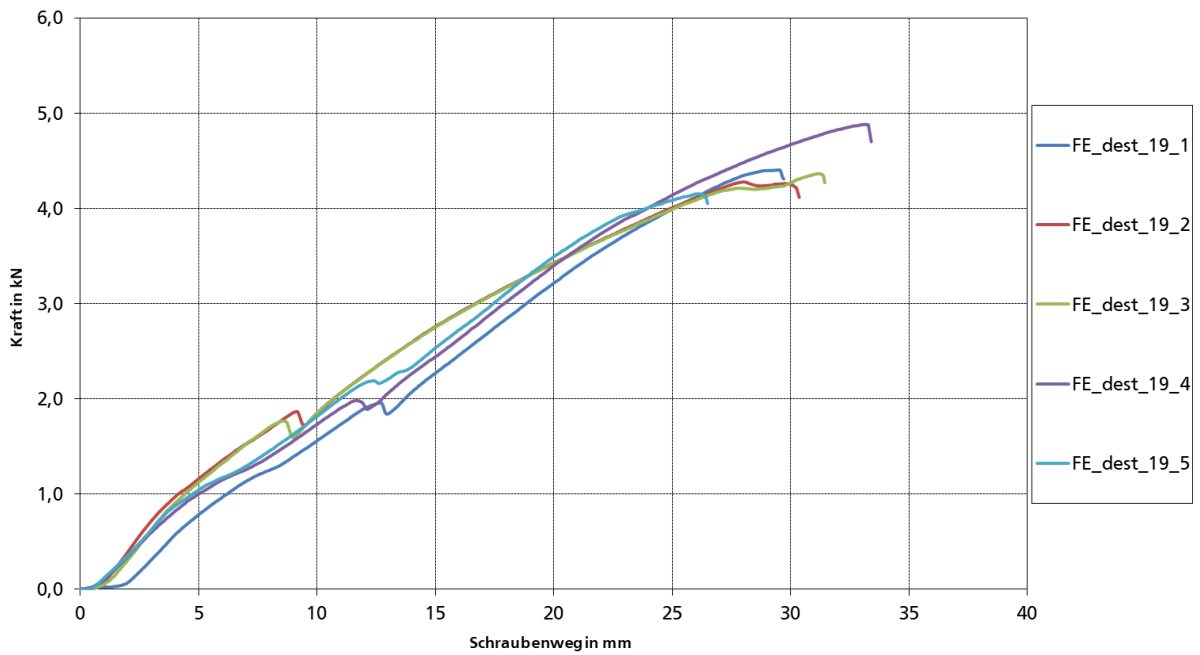


Bild 7.83: statische Auszugversuche

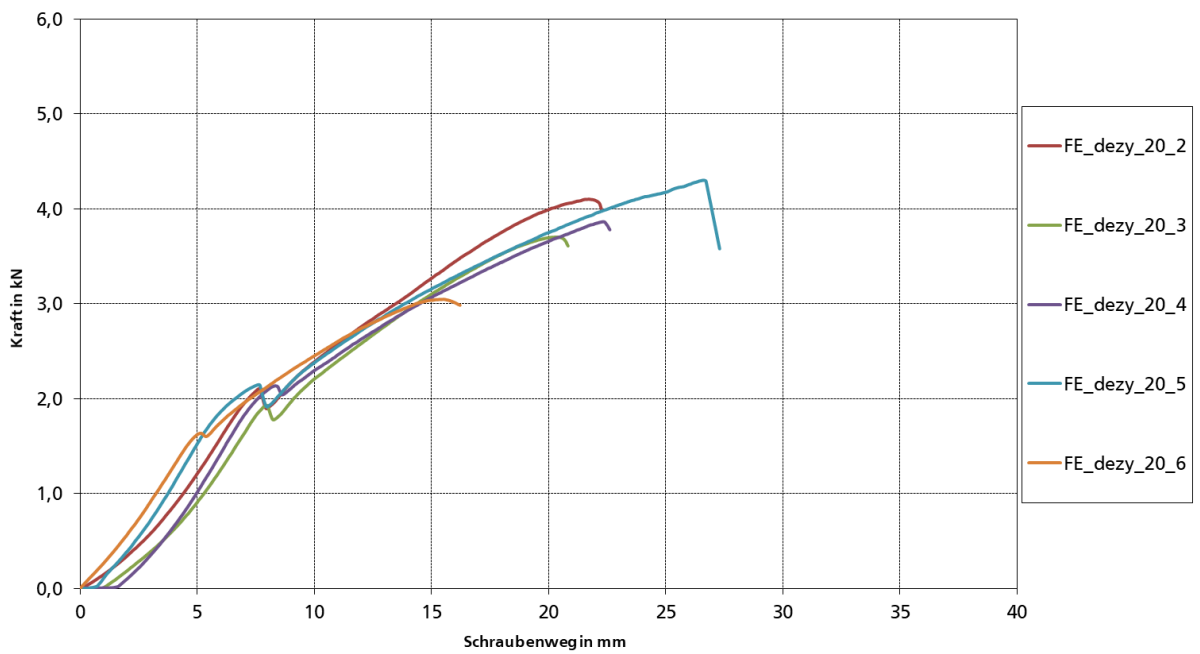


Bild 7.84: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FE 12:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 40$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FE_dest_23_1	29,20	4,39	4,39	0,57	0,44	Schraube in Hochsicke
FE_dest_23_2	28,35	4,52	4,52			
FE_dest_23_3	35,49	5,04	5,04			
FE_dest_23_4	33,12	4,61	4,61			Schraube in Tiefsicke
FE_dest_23_5	29,70	4,23	4,23			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,55	4,55			
Standardabw.:	$s =$	0,07	0,07			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,87	3,87			

Belastung	zykl., $n = 5000, 4$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FE_dezy_24_1	0,5	2,28	0,23	24,72	3,74	3,74	Hochsicke, Versagen durch ca. 8 cm Blechanriss am Steg während Auszugversuch, kein Durchknöpfen
FE_dezy_24_2				27,39	3,69	3,69	
FE_dezy_24_3	0,45	2,05	0,20	23,18	4,21	4,21	Hochsicke
FE_dezy_24_4	Beschädigte Messdaten						
FE_dezy_24_5							
FE_dezy_24_6							
Mittelwert:	$F_{Rt,dyn} =$		-	-	(für $k = 0,5$)		
Standardabweichung:	$s =$		-	-			
5 %-Fraktilwert:	$F_{Rtk,dyn} =$		-	-			
Grenzwert Resttragfähigkeit:	$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$		2,96				

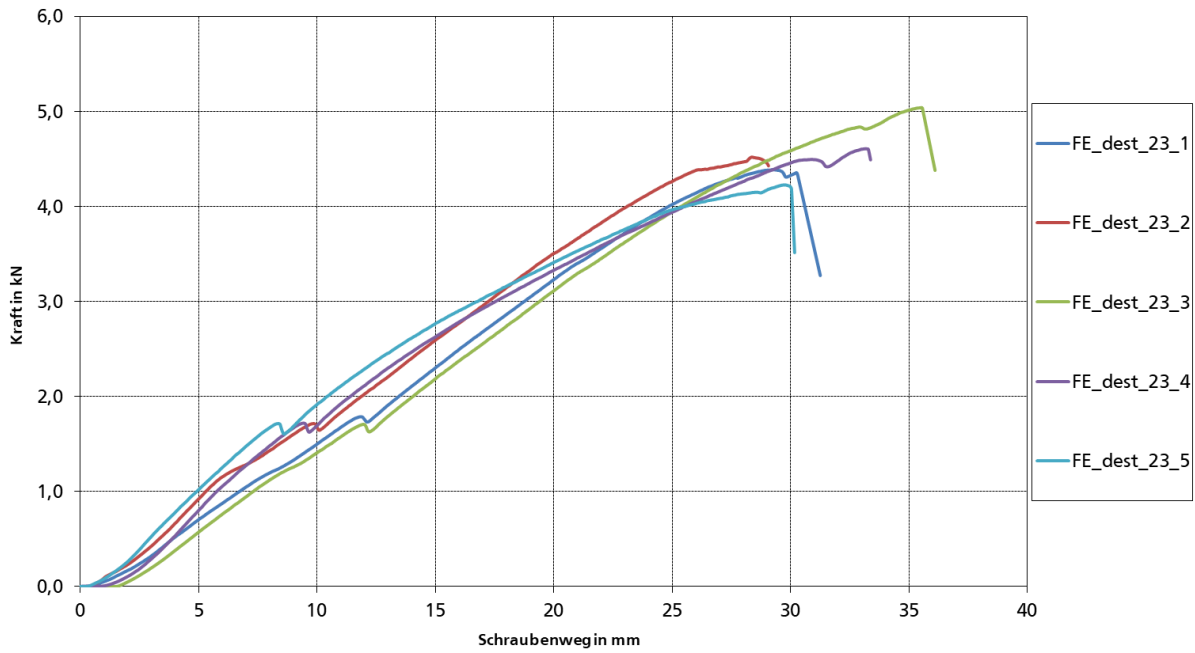


Bild 7.85: statische Auszugversuche

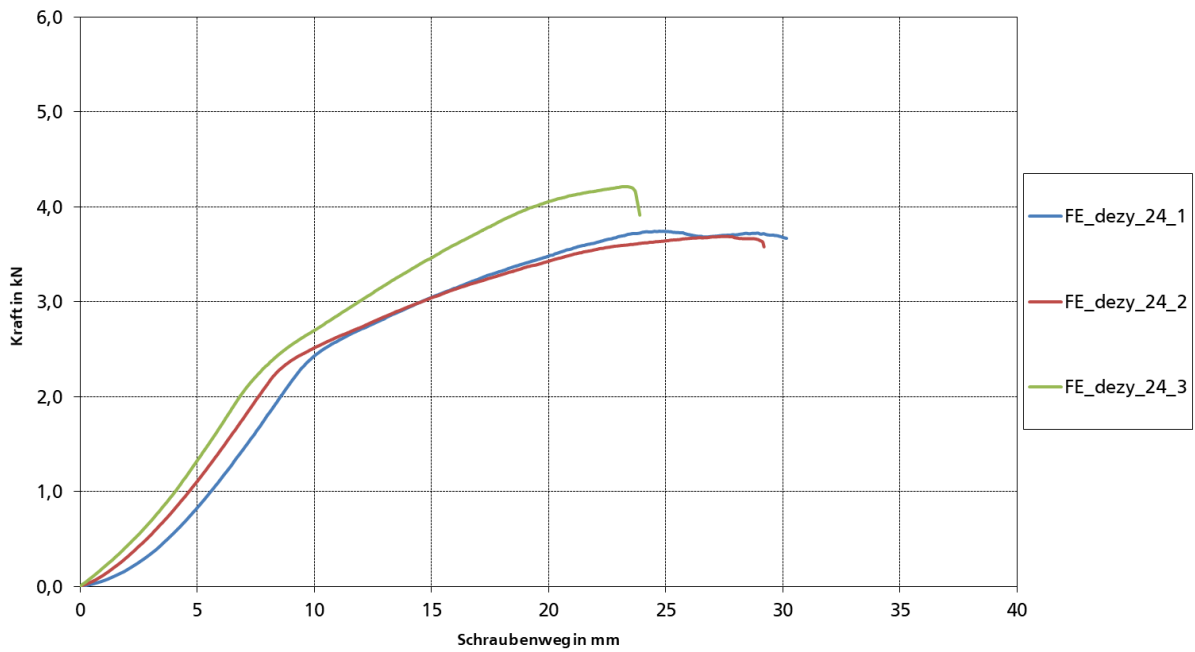


Bild 7.86: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.5 FH – FISCHER/HILTI

Es folgt die Darstellung der Versuchsergebnisse aus der Kombination des Elementherstellers FISCHER (PUR-Schaum) mit dem Schraubenhersteller HILTI getrennt nach Versuchen am Mittelaufleger und Endaufleger.

7.5.1 Mittelaufleger

Die Versuchskörper dieser Versuchsreihe versagten aufgrund von Durchknöpfen des Schraubenkopfes mitsamt der Unterlegscheibe durch das Deckblech.

Während der zyklischen Belastung traten in einigen Versuchen Ermüdungsrisse an den benachbarten Sickenstegen auf, welche ein vorzeitiges Durchknöpfen auslösten oder bewirkten, dass der Grenzwert im anschließenden Auszugversuch nicht erreicht wurde. Dieser Effekt trat verstärkt bei einer Schraubenlage in der Hochsicke auf. Hier wurde ein minimaler Lastfaktor von $k = 0,4$ erreicht. Die Versuche in der Tiefsicke erreichten einen Faktor von $k = 0,5$.

FH 2:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,55$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FH_dmst_3_1	13,94	3,65	3,65	0,50	0,44	Schraube in Hochsicke
FH_dmst_3_2	15,32	3,61	3,61			
FH_dmst_3_3	16,30	3,99	3,99			
FH_dmst_3_4	13,84	3,54	3,54			
FH_dmst_3_5	15,59	4,11	4,11			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,78	3,78			
Standardabw.:	$s =$	0,07	0,07			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,21	3,21			

Belastung	zykl., $n = 5000, 4$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FH_dmzy_4_1							Beschädigte Messdaten
FH_dmzy_4_2							
FH_dmzy_4_3							
FH_dmzy_4_4							
FH_dmzy_4_5							
Mittelwert:		$F_{Rt,dyn} =$	-	-			
Standardabweichung:		$s =$	-	-			
5 %-Fraktilwert:		$F_{Rtk,dyn} =$	-	-			
Grenzwert Resttragfähigkeit:		$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	-	-			

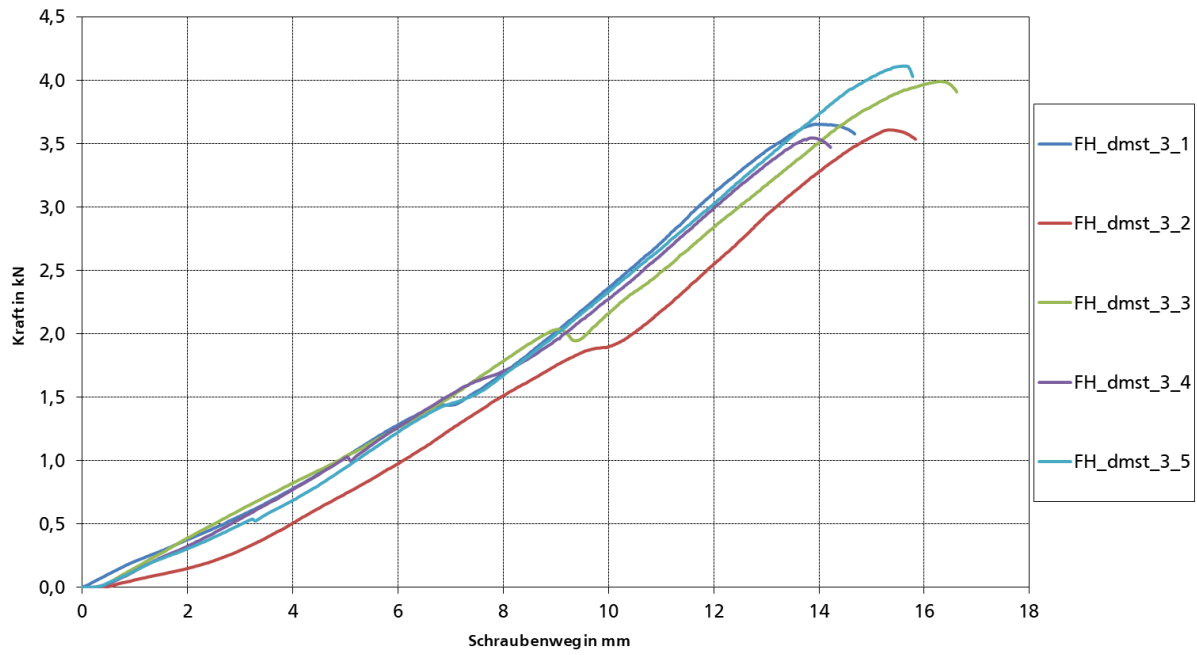


Bild 7.87: statische Auszugversuche

FH 4:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,55$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchs-lage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FH_dmst_7_1	16,46	4,08	4,08	0,50	0,44	Schraube in Hochsicke
FH_dmst_7_2	17,52	4,24	4,24			
FH_dmst_7_3	16,76	4,10	4,10			
FH_dmst_7_4	15,75	3,61	3,61			
FH_dmst_7_5	16,05	4,28	4,28			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,06	4,06			
Standardabw.:	$s =$	0,07	0,07			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,43	3,43			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FH_dmzy_8_1	0,5	2,03	0,20	Beschädigte Messdaten			Tiefsicke
FH_dmzy_8_2							
FH_dmzy_8_3							
FH_dmzy_8_4				7,68	3,13	3,13	
FH_dmzy_8_5				10,28	3,77	3,77	
FH_dmzy_8_6				6,91	2,88	2,88	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,26	3,26		
Standardabweichung:			$s =$	0,14	0,14		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	2,10	2,10		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,64			

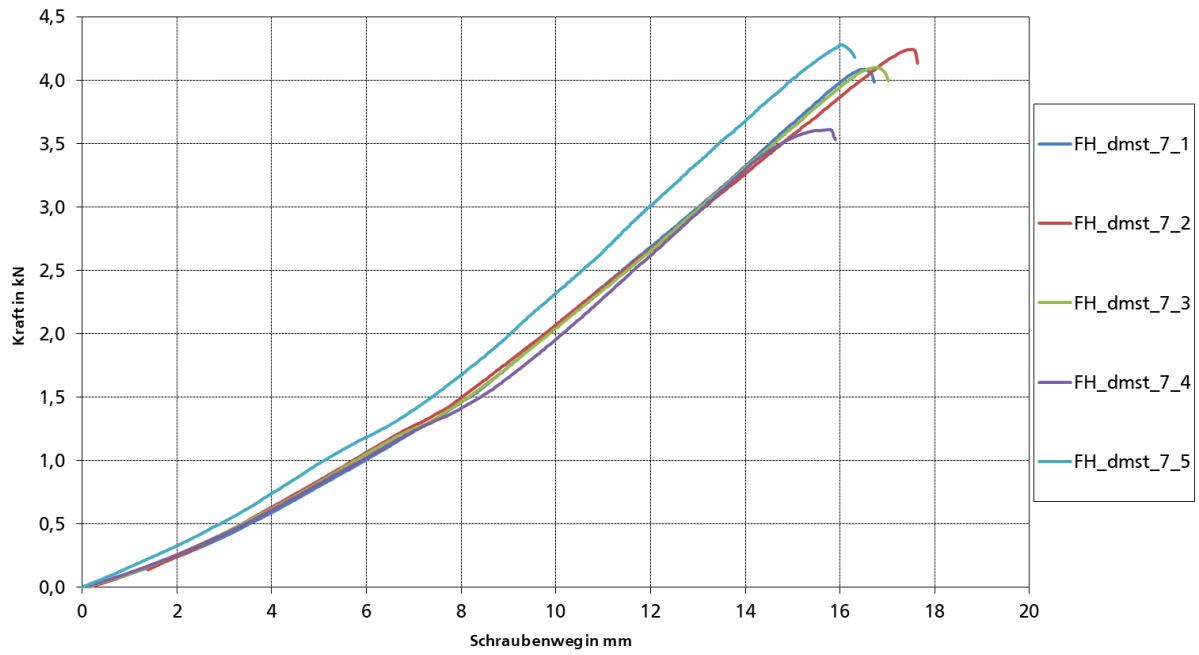


Bild 7.88: statische Auszugversuche

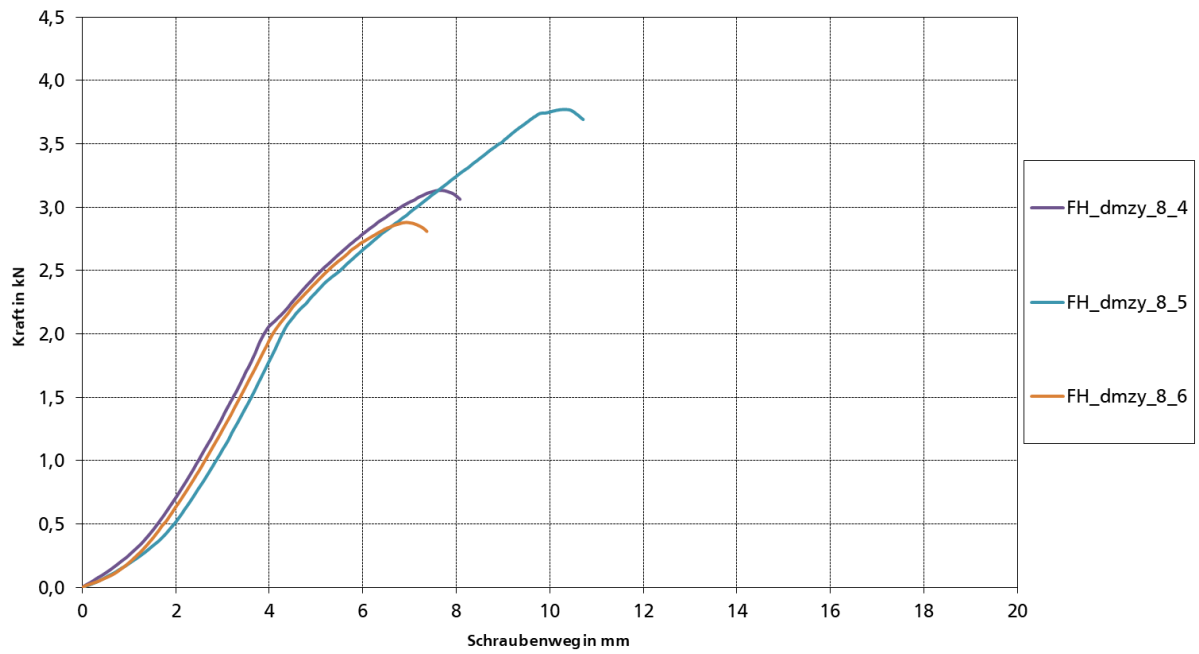


Bild 7.89: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FH 6:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FH_dmst_11_1	17,28	4,24	4,24	0,57	0,44	Schraube in Hochsicke
FH_dmst_11_2	16,75	4,33	4,33			
FH_dmst_11_3	16,21	4,12	4,12			
FH_dmst_11_4	14,69	4,55	4,55			Schraube in Tiefsicke
FH_dmst_11_5	16,71	4,95	4,95			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,44	4,44			
Standardabw.:	$s =$	0,07	0,07			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,71	3,71			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	w _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	
FH_dmzy_12_1	0,5	2,22	0,22	7,92	2,76	2,76	Hochsicke, Anriss am Sickensteg nach 2500 LW, Grenzwert nicht eingehalten
FH_dmzy_12_2				-	-	-	Hochsicke, Anriss am Sickensteg nach 2000 LW, Versagen nach 3500 LW
FH_dmzy_12_3	0,45	2,00	0,20	11,66	3,89	3,89	Hochsicke
FH_dmzy_12_4				12,22	4,45	4,45	
FH_dmzy_12_5				12,41	3,83	3,83	
FH_dmzy_12_6	0,5	2,22	0,22	10,53	4,07	4,07	Tiefsicke
FH_dmzy_12_7				12,08	4,84	4,84	
FH_dmzy_12_8				9,49	4,01	4,01	
Mittelwert:				F _{Rt,dyn} =	4,06	4,06	
Standardabweichung:				s =	0,08	0,08	
5 %-Fraktilwert:				F _{Rtk,dyn} =	3,11	3,11	
Grenzwert Resttragfähigkeit:				1,3·k·F _{Rt,stat} =	2,60		(für k = 0,45)

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor k = 0,45 berücksichtigt (Hochsicke). In der Tiefsicke wurde ein Lastfaktor von k = 0,5 erreicht.

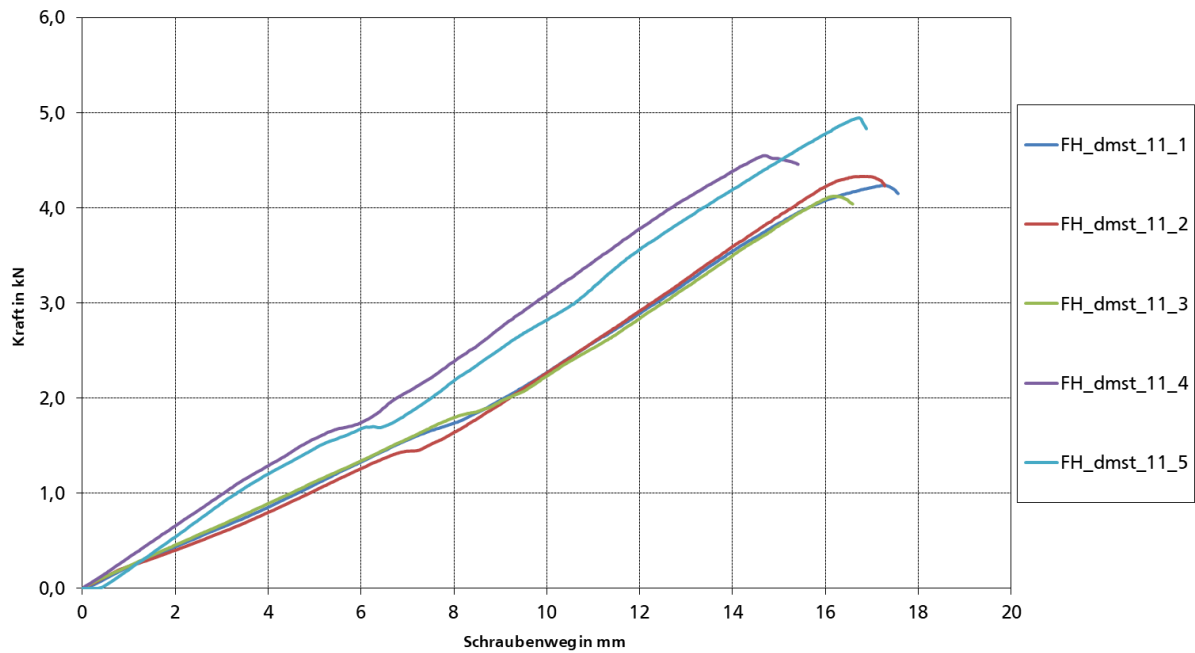


Bild 7.90: statische Auszugversuche

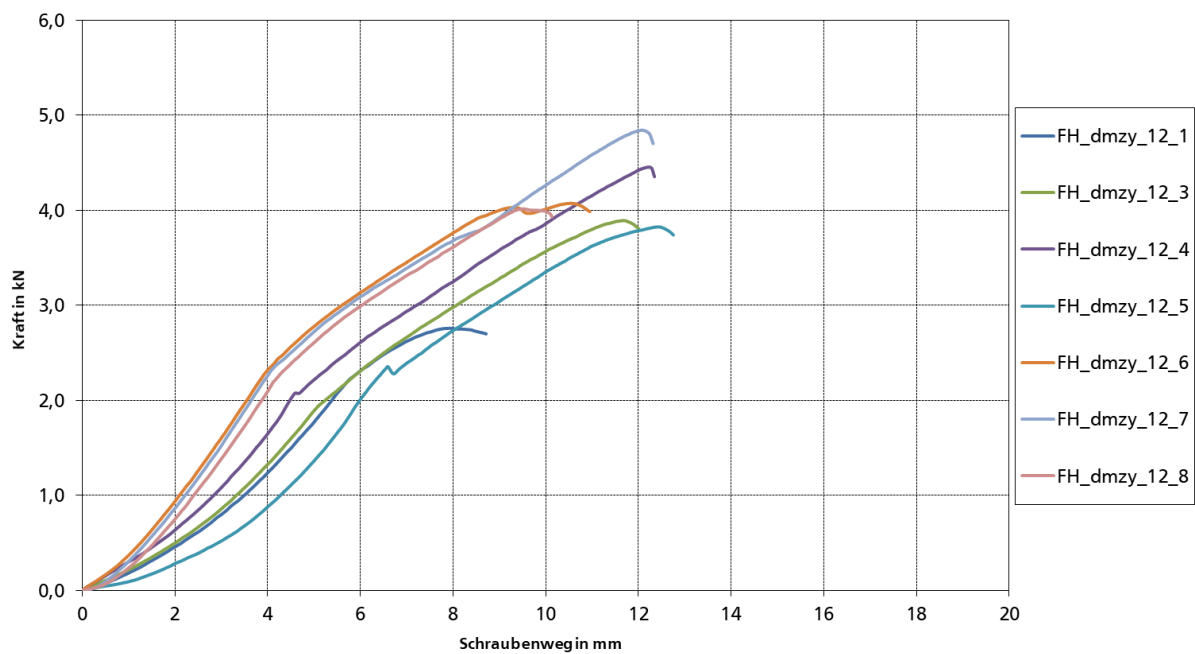


Bild 7.91: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FH 8:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	W_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FH_dmst_15_1	17,98	4,21	4,21	0,57	0,44	Schraube in Hochsicke
FH_dmst_15_2	17,93	4,23	4,23			
FH_dmst_15_3	18,49	4,66	4,66			
FH_dmst_15_4	16,91	4,21	4,21			
FH_dmst_15_5	18,49	4,61	4,61			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,38	4,38			
Standardabw.:	$s =$	0,05	0,05			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,85	3,85			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	W _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	
FH_dmzy_16_1	0,5	2,19	0,22	-	-	-	Hochsicke, Anriss am Sickensteg nach 4100 LW, Versagen nach 4800 LW
FH_dmzy_16_2	0,4	1,75	0,18	10,05	2,81	2,81	Hochsicke, Anriss am Sickensteg nach 4400 LW, Grenzwert eingehalten
FH_dmzy_16_3				9,17	2,69	2,69	Hochsicke
FH_dmzy_16_4				7,70	1,82	1,82	Hochsicke, Grenzwert unterschritten
FH_dmzy_16_5	0,5	2,19	0,22	11,99	4,71	4,71	Tiefsicke
FH_dmzy_16_6				9,34	3,97	3,97	
FH_dmzy_16_7				10,84	4,17	4,17	
Mittelwert:		F _{Rt,dyn} =		2,44	2,44		
Standardabweichung:		s =		0,24	0,24		
5 %-Fraktilwert:		F _{Rtk,dyn} =		1,13	1,13		
Grenzwert Resttragfähigkeit:		1,3 · k · F _{Rt,stat} =		2,28		(für k = 0,4)	

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor k = 0,4 berücksichtigt (Hochsicke). In der Tiefsicke wurde ein Lastfaktor von k = 0,5 erreicht.

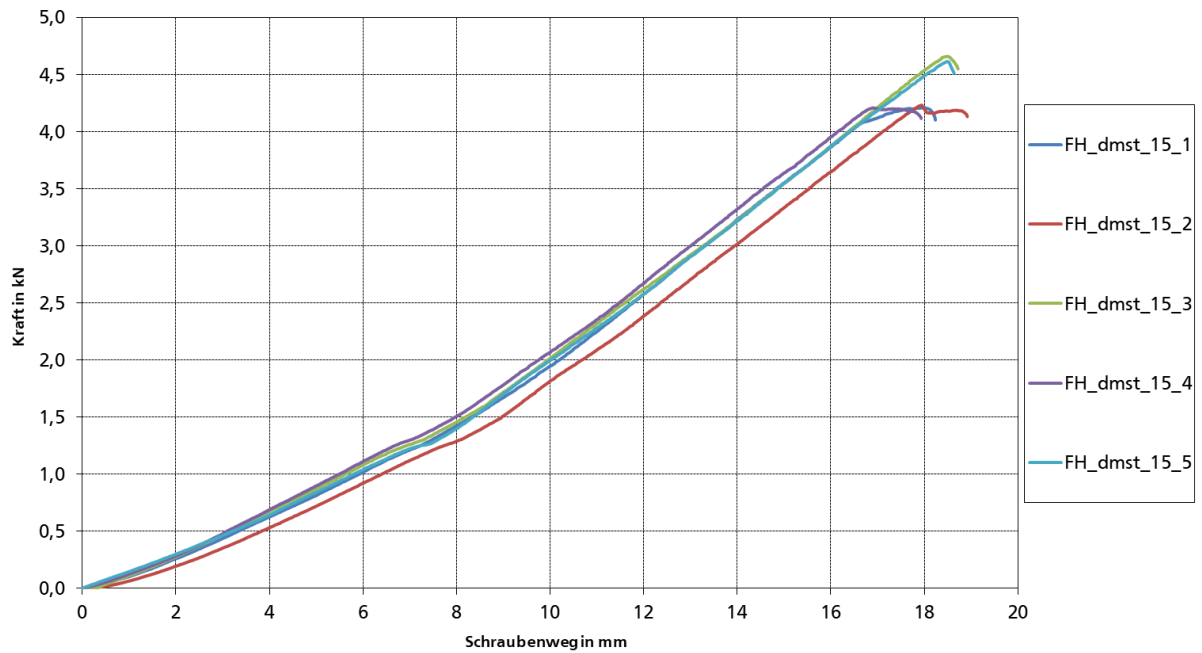


Bild 7.92: statische Auszugversuche

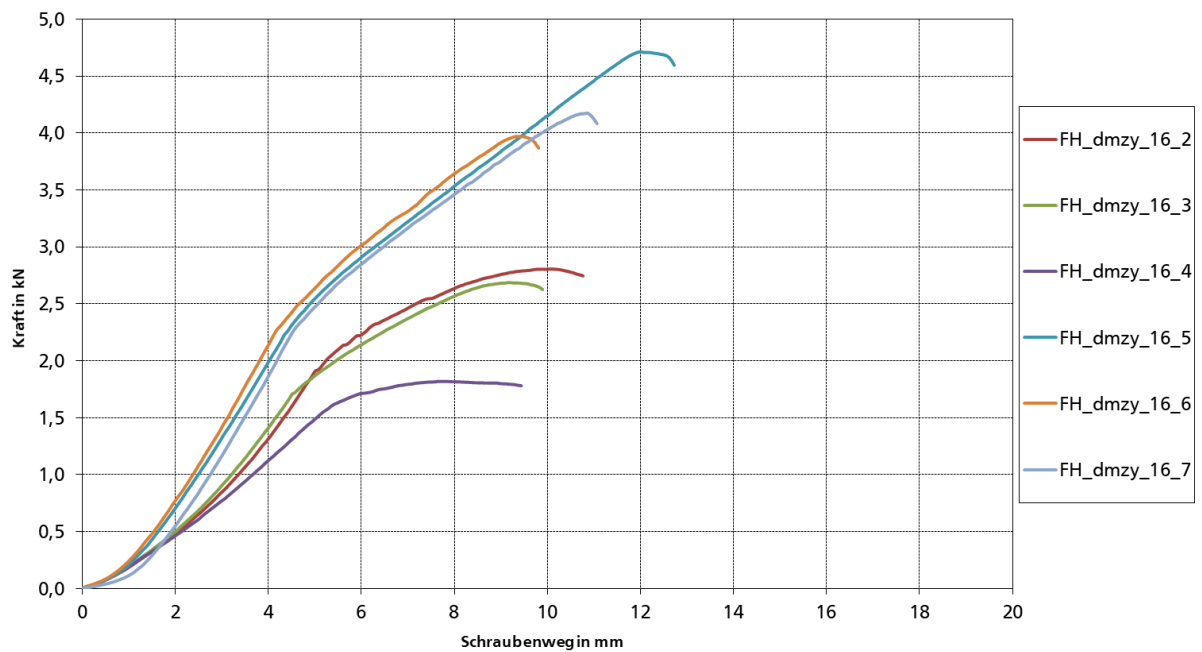


Bild 7.93: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.5.2 Endauflager

Die Versuche wurden mit einem Randabstand von 20 mm durchgeführt. In den statischen Versuchen erfolgte das Versagen durch Durchknöpfen und Durchreißen des Deckblechs zum Elementrand. In den zugehörigen zyklischen Versuchen traten häufig Risse an den benachbarten Sickenstegen oder zwischen Bohrung und Elementrand auf, welche zum vorzeitigen Versagen führten oder sich im anschließenden Auszugversuch weiter öffneten. Die zyklischen Versuche wurden in der Hochsicke und in der Tiefsicke durchgeführt. Die minimal erreichten Lastfaktoren betragen (in der Versuchsreihe FH 7) $k = 0,25$ in der Tiefsicke und $k = 0,3$ in der Hochsicke. In den übrigen Versuchsreihen wurden größere Werte erreicht.

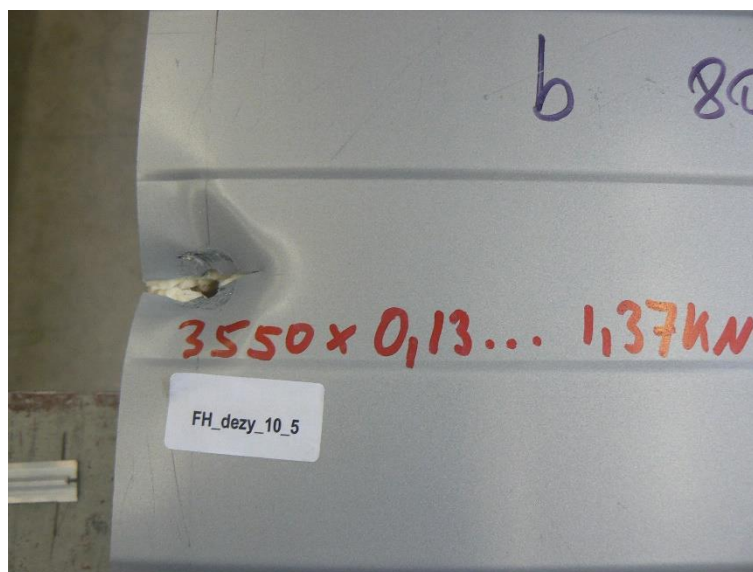


Bild 7.94: Versagen während des zyklischen Versuchs

FH 3:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,55$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchsloge:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FH_dest_5_1	24,69	2,69	2,69	0,50	0,44	Hochsicke
FH_dest_5_2	26,50	3,00	3,00			
FH_dest_5_3	25,24	2,93	2,93			
FH_dest_5_4	26,23	3,38	3,38			Tiefsicke
FH_dest_5_5	28,28	3,43	3,43			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,09	3,09			
Standardabw.:	$s =$	0,10	0,10			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,39	2,39			

Belastung	zykl., $n = 5000, 4$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FH_dezy_6_1	0,5	1,54	0,15	16,85	2,61	2,61	Hochsicke
FH_dezy_6_2				10,25	1,99	1,99	
FH_dezy_6_3				13,17	2,51	2,51	
FH_dezy_6_4				15,09	2,48	2,48	Tiefsicke
FH_dezy_6_5				15,44	2,59	2,59	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	2,43	2,43		
Standardabweichung:			$s =$	0,11	0,11		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	1,84	1,84		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,01			

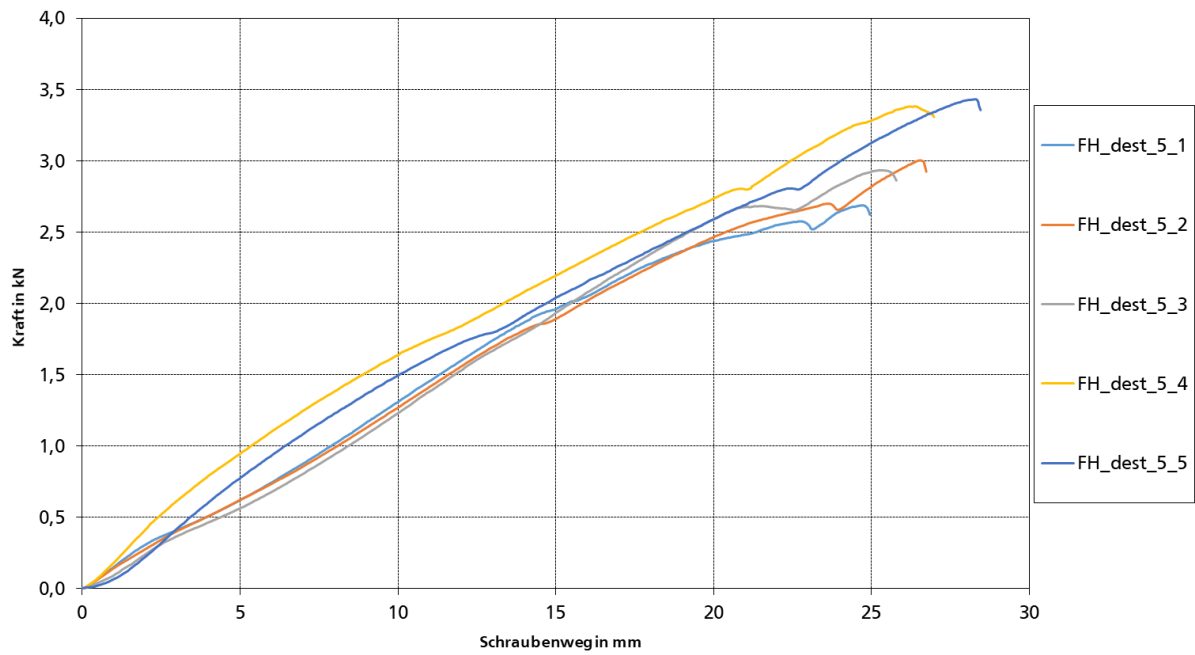


Bild 7.95: statische Auszugversuche

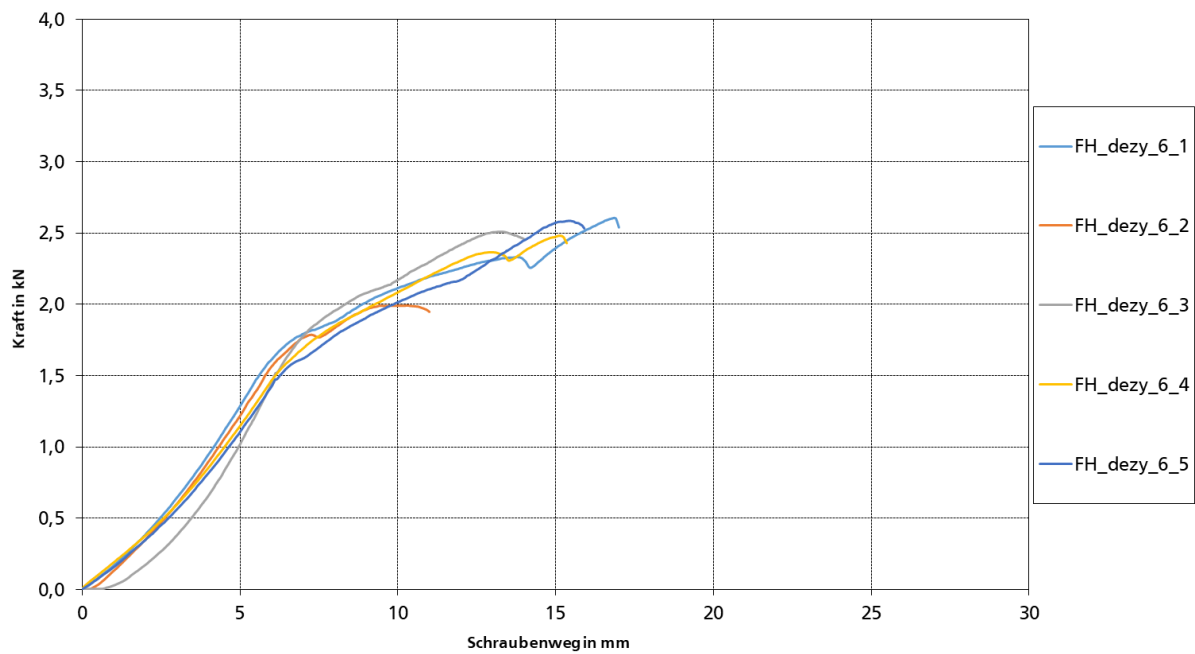


Bild 7.96: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FH 5:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,55$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FH_dest_9_1	29,84	3,02	3,02	0,50	0,44	Hochsicke
FH_dest_9_2	25,99	3,12	3,12			
FH_dest_9_3	26,24	3,18	3,18			
FH_dest_9_4	25,74	2,85	2,85			Tiefsicke
FH_dest_9_5	27,45	3,01	3,01			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,04	3,04			
Standardabw.:	$s =$	0,04	0,04			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,74	2,74			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	w _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	Bemerkung
FH_dezy_10_1	0,5	1,52	0,15	19,80	2,76	2,76	Hochsicke
FH_dezy_10_2				13,12	2,26	2,26	
FH_dezy_10_3				17,48	2,73	2,73	
FH_dezy_10_4				-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 3800 LW
FH_dezy_10_5	0,45	1,37	0,14	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 3600 LW
FH_dezy_10_6	0,4	1,21	0,12	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 2900 LW
FH_dezy_10_7	0,35	1,06	0,11	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 3800 LW
FH_dezy_10_8	0,3	0,91	0,09	22,54	2,78	2,78	Tiefsicke
FH_dezy_10_9				13,68	0,88	0,88	Tiefsicke, Grenzwert nicht erreicht
FH_dezy_10_10				11,68	1,77	1,77	Tiefsicke
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =		2,27	2,27	
Standardabweichung:			s =		-	-	
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =		-	-	
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =		1,18		(für k = 0,3)

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche in der Tiefsicke mit Lastfaktor $k = 0,3$ berücksichtigt (10_8 und 10_10). In der Hochsicke wurde ein Lastfaktor von $k = 0,5$ erreicht.

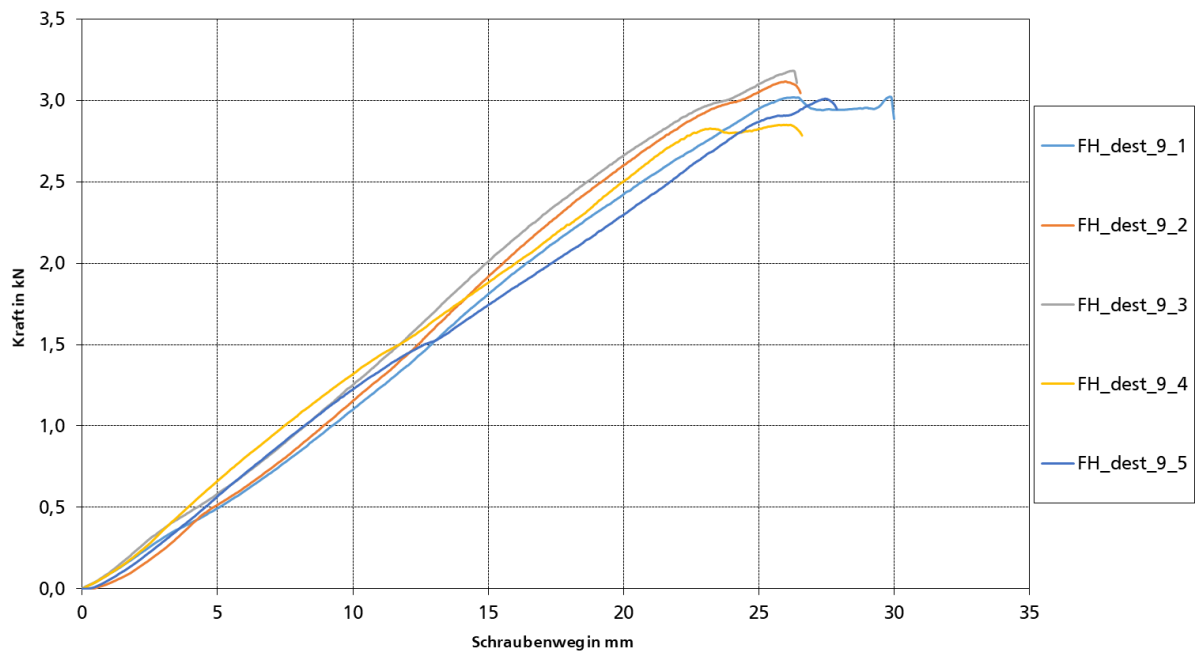


Bild 7.97: statische Auszugversuche

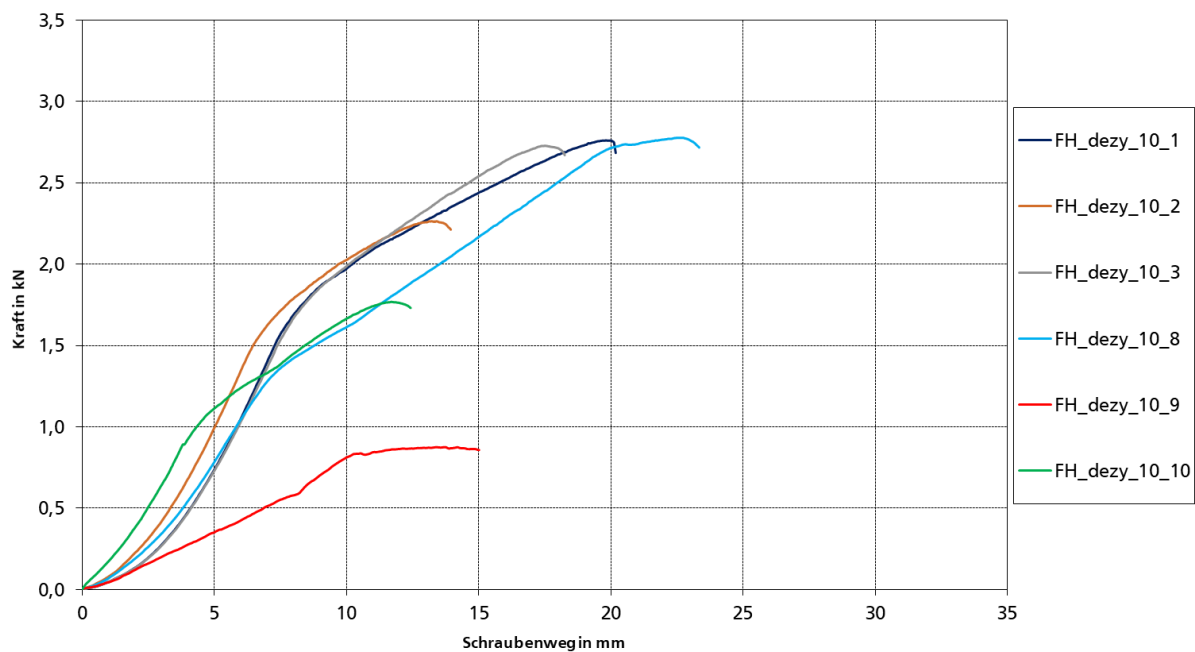


Bild 7.98: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FH 7:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FH_dest_13_1	28,64	3,48	3,48	0,57	0,44	Schraube in Hochsicke
FH_dest_13_2	30,50	3,41	3,41			Schraube im Übergang Hochsicke/Tief- sicke
FH_dest_13_3	30,04	3,61	3,61			Schraube in Hochsicke
FH_dest_13_4	26,39	3,45	3,45			Schraube im Übergang Hochsicke/Tief- sicke
FH_dest_13_5	29,69	3,59	3,59			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,51	3,51			
Standardabw.:	$s =$	0,02	0,02			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,30	3,30			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	W _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	Bemerkung
FH_dezy_14_1	0,5	1,75	0,18	-	-	-	Tiefsicke, Riss am Sickensteg, Durchknöpfen nach 3300 LW
FH_dezy_14_2				12,17	2,38	2,38	Tiefsicke, großer Riss am Sickensteg
FH_dezy_14_3	0,35	1,23	0,12	-	-	-	Tiefsicke, Riss am Sickensteg, Durchknöpfen nach 2600 LW
FH_dezy_14_4	0,3	1,05	0,11	-	-	-	Tiefsicke, Riss am Sickensteg, Durchknöpfen nach 4400 LW
FH_dezy_14_5	0,25	0,88	0,09	11,20	0,96	0,96	Tiefsicke, Riss am Sickensteg, Grenzwert nicht eingehalten
FH_dezy_14_6	0,5	1,75	0,18	-	-	-	Hochsicke, Riss am Sickensteg, Durchknöpfen nach 4700 LW
FH_dezy_14_7	0,4	1,40	0,14	-	-	-	Hochsicke, großer Riss am Sickensteg
FH_dezy_14_8	0,3	1,05	0,11	15,64	2,31	2,31	Hochsicke
FH_dezy_14_9				16,54	2,23	2,23	Hochsicke
FH_dezy_14_10				14,75	1,95	1,95	Hochsicke
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =		2,16	2,16	
Standardabweichung:			s =		0,09	0,09	
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =		1,63	1,63	
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =		1,37		(für k = 0,3)

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche in der Hochsicke mit Lastfaktor $k = 0,3$ berücksichtigt (14_8 bis _10). Für die Tiefsicke ist keine abschließende Aussage möglich.

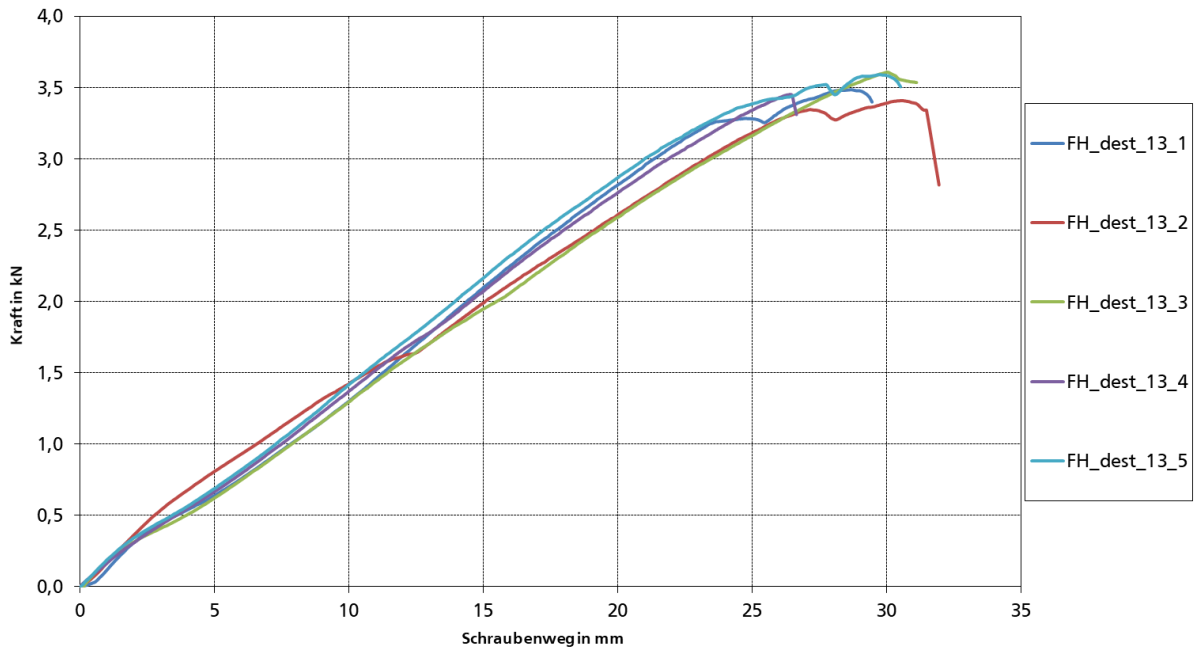


Bild 7.99: statische Auszugversuche

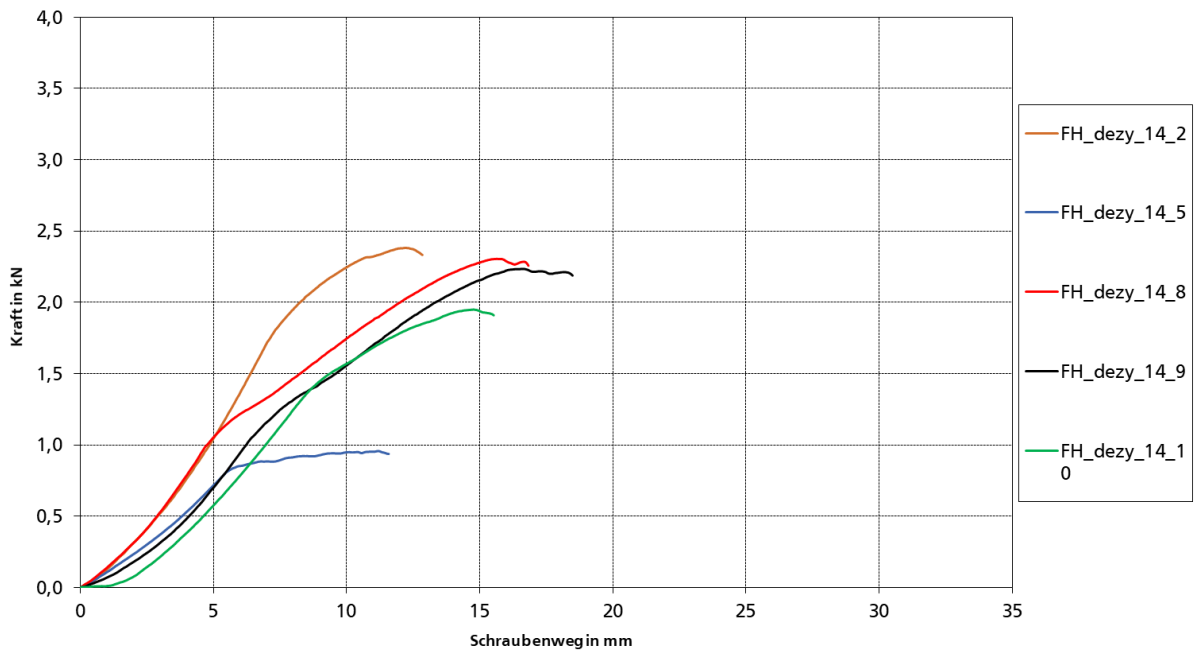


Bild 7.100: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.6 FS – FISCHER/SFS

Es folgt die Darstellung der Versuchsergebnisse aus der Kombination des Elementherstellers FISCHER (PUR-Schaum) mit dem Schraubenhersteller SFS getrennt nach Versuchen am Mittelaufleger und Endaufleger.

7.6.1 Mittelaufleger

Die Versuchskörper dieser Versuchsreihe versagten aufgrund von Durchknöpfen des Schraubenkopfes mitsamt der Unterlegscheibe durch das Deckblech.

Während der zyklischen Belastung traten in einigen Versuchen Ermüdungsrisse an den benachbarten Sickenstegen auf, welche ein vorzeitiges Durchknöpfen auslösten oder bewirkten, dass der Grenzwert im anschließenden Auszugversuch nicht erreicht wurde. Dieser Effekt trat verstärkt bei einer Schraubenlage in der Hochsicke auf. Hier wurde ein minimaler Lastfaktor von $k = 0,35$ erreicht. Die Versuche in der Tiefsicke erreichten einen Faktor von $k = 0,5$.

FS 1:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FS_dmst_1_1	14,08	4,05	4,05	0,57	0,44	Hochsicke
FS_dmst_1_2	14,55	4,08	4,08			
FS_dmst_1_3	12,36	3,40	3,40			
FS_dmst_1_4	14,62	4,04	4,04			
FS_dmst_1_5	14,16	4,08	4,08			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,93	3,93			
Standardabw.:	$s =$	0,08	0,08			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,23	3,23			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FS_dmzy_2_1	0,5	1,97	0,20	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4000 LW
FS_dmzy_2_2	0,45	1,77	0,18	10,68	3,50	3,50	Hochsicke
FS_dmzy_2_3				8,25	2,62	2,62	
FS_dmzy_2_4				10,72	2,57	2,57	
FS_dmzy_2_5	0,5	1,97	0,20	6,71	2,61	2,61	Tiefsicke
FS_dmzy_2_6				9,25	3,31	3,31	
Mittelwert:	$F_{Rt,dyn} =$			2,90	2,90		
Standardabweichung:	$s =$			0,17	0,17		
5 %-Fraktilwert:	$F_{Rtk,dyn} =$			1,66	1,66		
Grenzwert Resttragfähigkeit:	$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$			2,30		(für k = 0,45)	

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor $k = 0,45$ berücksichtigt (Hochsicke). In der Tiefsicke wurde ein Lastfaktor von $k = 0,5$ erreicht.

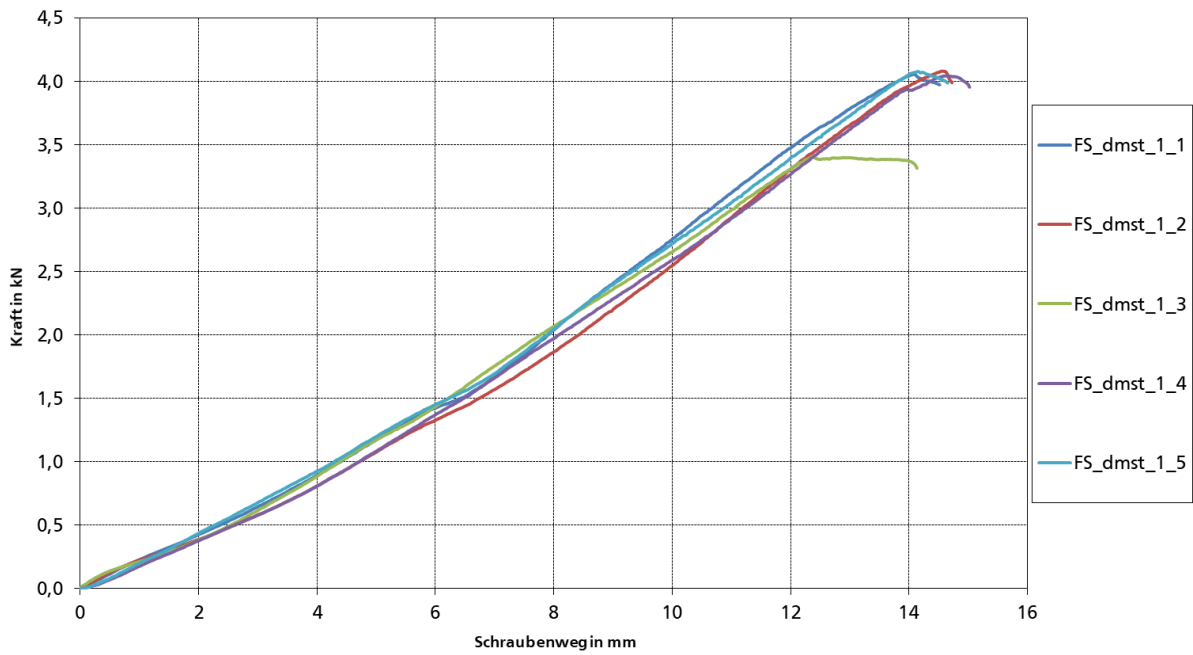


Bild 7.101: statische Auszugversuche

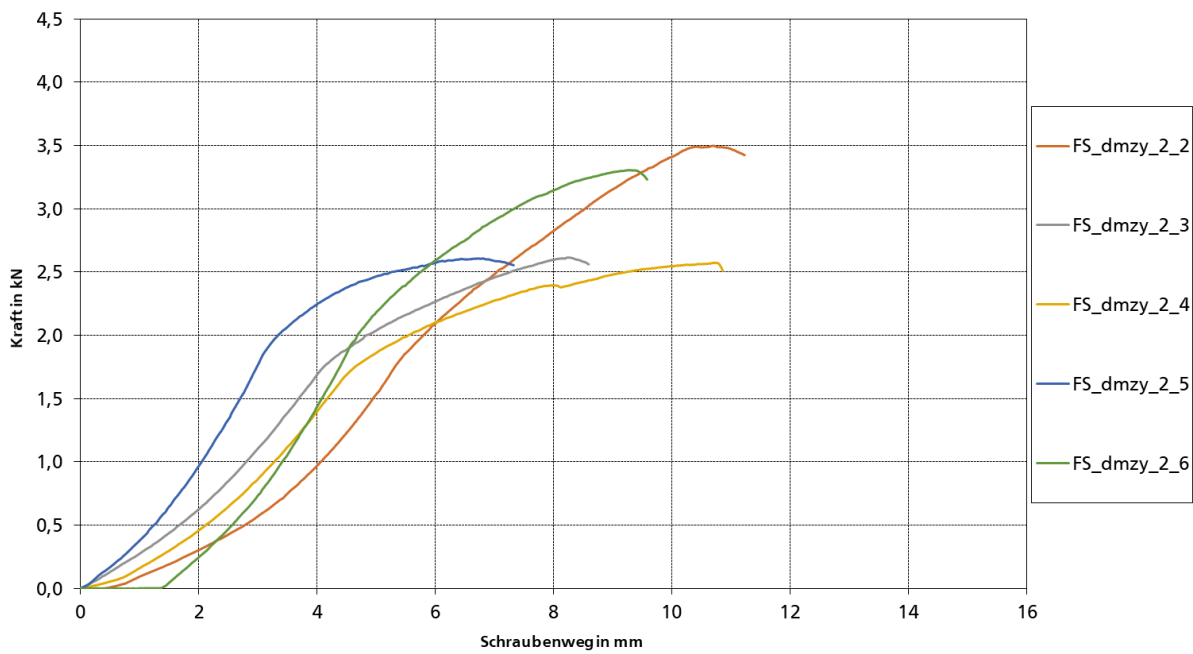


Bild 7.102: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FS 2:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,55$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FS_dmst_3_1	12,96	3,25	3,25	0,50	0,44	Hochsicke
FS_dmst_3_2	14,47	3,55	3,55			
FS_dmst_3_3	12,79	3,23	3,23			
FS_dmst_3_4	14,08	3,52	3,52			
FS_dmst_3_5	13,80	3,33	3,33			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,37	3,37			
Standardabw.:	$s =$	0,04	0,04			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,02	3,02			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FS_dmzy_4_1	0,5	1,69	0,17	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4700 LW
FS_dmzy_4_2	0,45	1,52	0,15	-	-	-	
FS_dmzy_4_3	0,4	1,35	0,13	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4100 LW
FS_dmzy_4_4	0,35	1,18	0,12	11,95	2,68	2,68	Hochsicke
FS_dmzy_4_5				9,29	1,71	1,71	
FS_dmzy_4_6				-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4800 LW
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	2,24	2,24		
Standardabweichung:			$s =$	-	-		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	-	-		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	1,54		(für k = 0,35)	

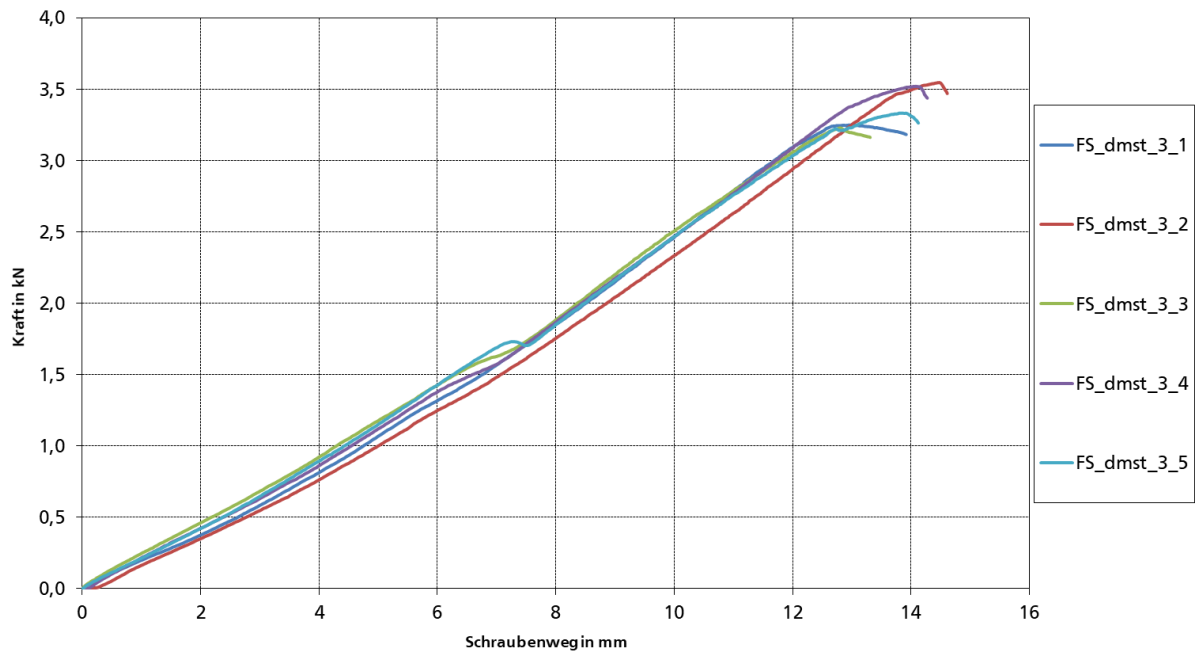


Bild 7.103: statische Auszugversuche

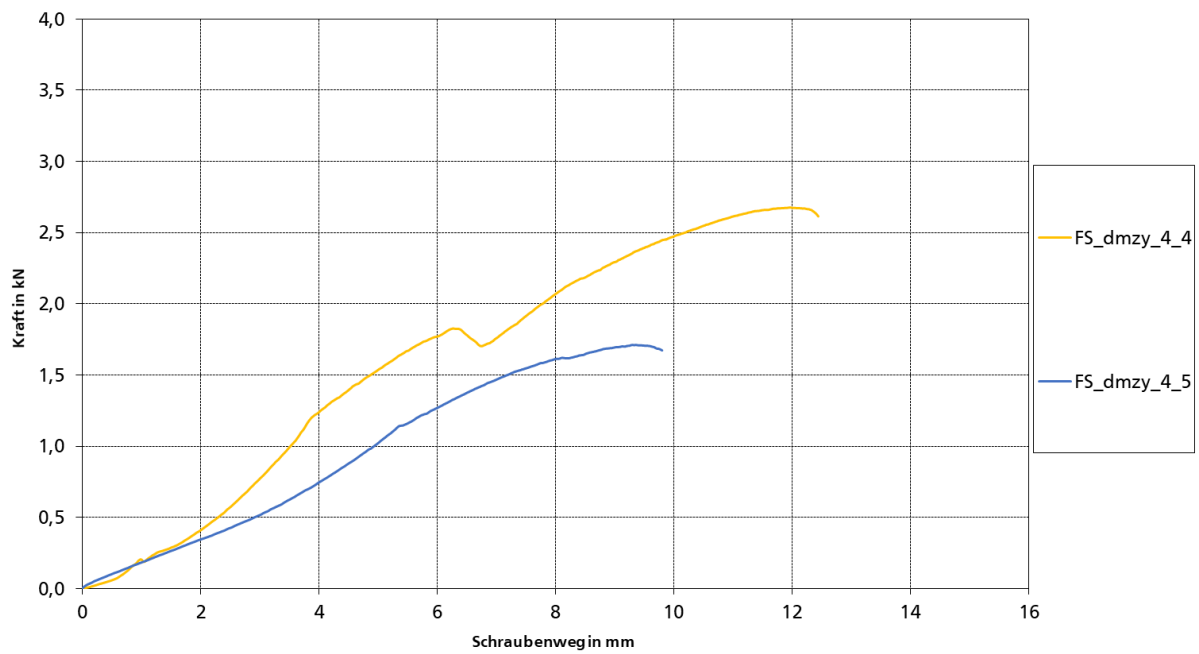


Bild 7.104: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FS 4:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,55$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FS_dmst_7_1	13,02	3,33	3,33	0,50	0,44	Hochsicke
FS_dmst_7_2	12,64	3,38	3,38			
FS_dmst_7_3	12,53	3,32	3,32			
FS_dmst_7_4	12,47	3,21	3,21			
FS_dmst_7_5	12,60	3,19	3,19			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,28	3,28			
Standardabw.:	$s =$	0,03	0,03			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,09	3,09			

Belastung	zykl., $n = 5000, 4$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
FS_dmzy_8_1	0,5	1,64	0,16	9,68	2,66	2,66	Hochsicke
FS_dmzy_8_2				9,16	2,42	2,42	
FS_dmzy_8_3				11,05	3,28	3,28	
FS_dmzy_8_4				11,12	3,84	3,84	Tiefsicke
FS_dmzy_8_5				10,10	3,62	3,62	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	3,17	3,17		
Standardabweichung:			$s =$	0,20	0,20		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	1,92	1,92		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,13			

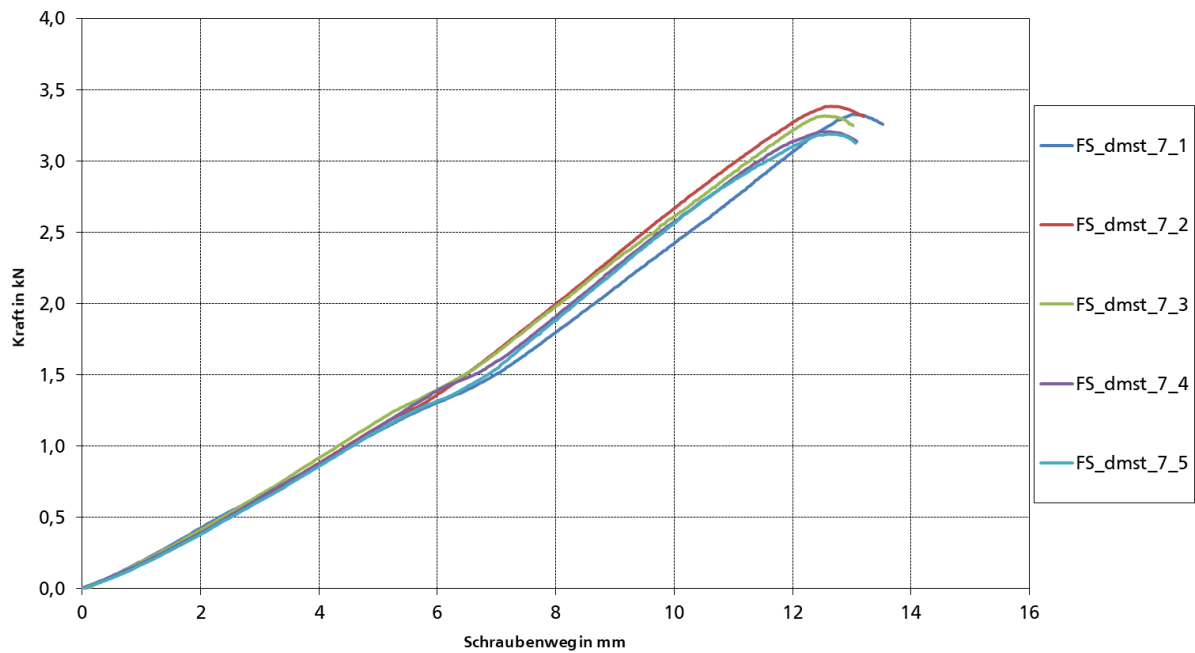


Bild 7.105: statische Auszugversuche

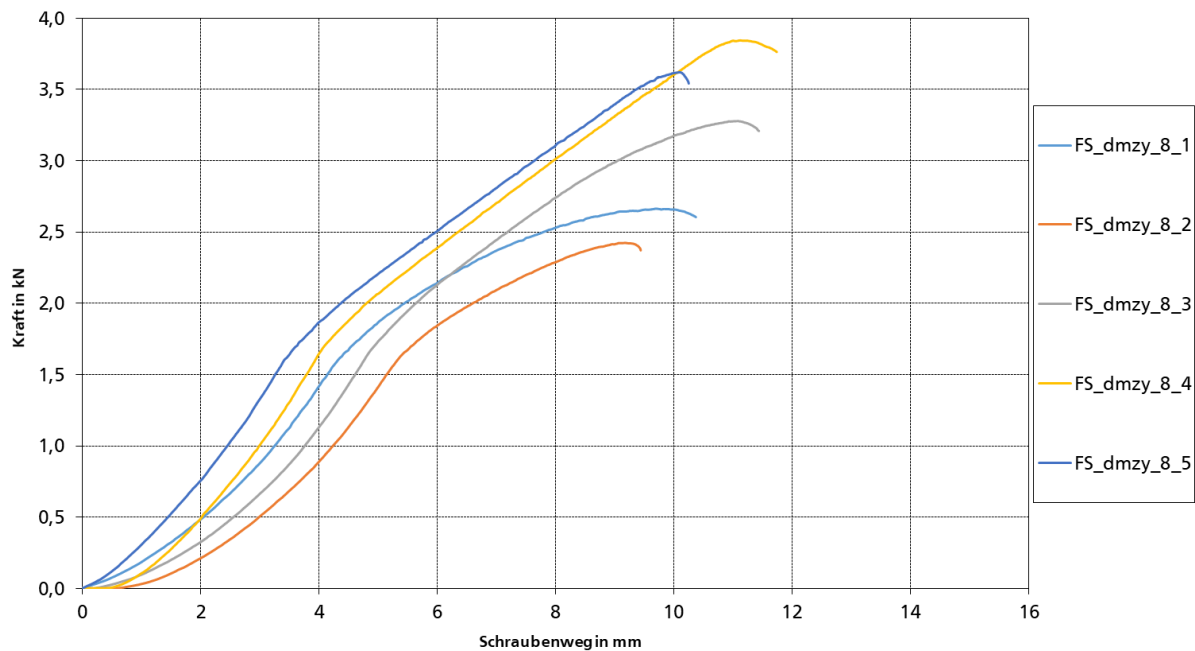


Bild 7.106: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FS 6:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FS_dmst_11_1	16,05	4,10	4,10	0,57	0,44	Hochsicke
FS_dmst_11_2	17,08	4,26	4,26			
FS_dmst_11_3	16,92	4,18	4,18			
FS_dmst_11_4	13,70	3,89	3,89			Tiefsicke
FS_dmst_11_5	13,63	4,02	4,02			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	4,09	4,09			
Standardabw.:	$s =$	0,04	0,04			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,75	3,75			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	w _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	Bemerkung
FS_dmzy_12_1	0,5	2,04	0,20	8,48	2,30	2,30	Hochsicke, Grenzwert nicht erreicht
FS_dmzy_12_2	0,5	2,04	0,20	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4300 LW
FS_dmzy_12_3	0,45	1,84	0,18	9,85	2,54	2,54	Hochsicke
FS_dmzy_12_4				10,92	3,09	3,09	
FS_dmzy_12_5				10,47	2,91	2,91	
FS_dmzy_12_6	0,5	2,04	0,20	10,64	3,99	3,99	Tiefsicke
FS_dmzy_12_7				10,79	4,20	4,20	
FS_dmzy_12_8				8,14	3,28	3,28	
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	2,84	2,84		
Standardabweichung:			s =	0,10	0,10		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	2,06	2,06		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	2,39			(für k = 0,45)

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor k = 0,45 berücksichtigt (Hochsicke). In der Tiefsicke wurde ein Lastfaktor von k = 0,5 erreicht.

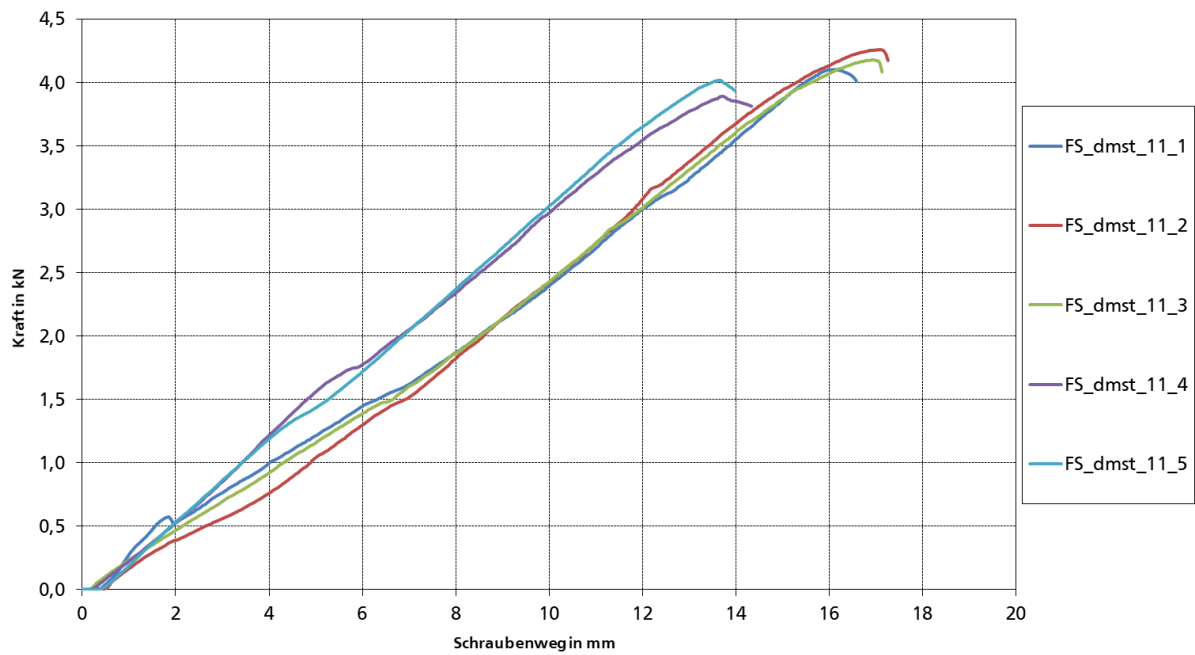


Bild 7.107: statische Auszugversuche

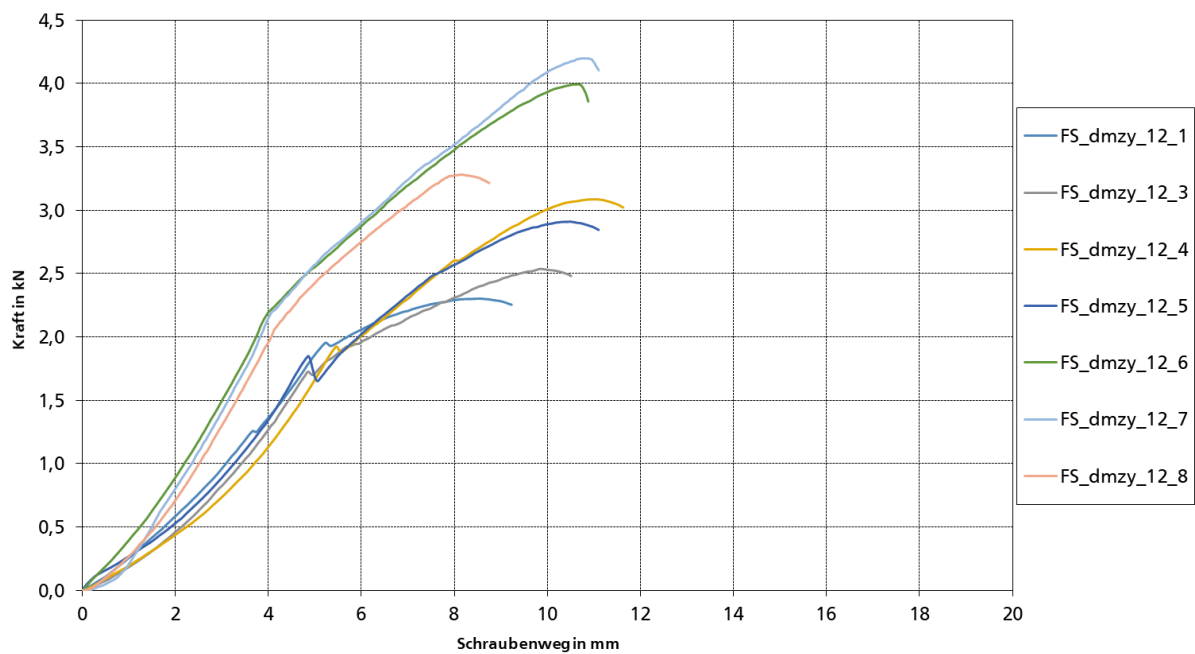


Bild 7.108: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.6.2 Endauflager

Die Versuche wurden mit einem Randabstand von 20 mm durchgeführt. In den statischen Versuchen erfolgte das Versagen durch Durchknöpfen und Durchreißen des Deckblechs zum Elementrand. In den zugehörigen zyklischen Versuchen traten häufig Risse an den benachbarten Sickenstegen oder zwischen Bohrung und Elementrand auf, welche zum vorzeitigen Versagen führten oder sich im anschließenden Auszugversuch weiter öffneten. Die zyklischen Versuche wurden in der Hochsicke und in der Tiefsicke durchgeführt. Der minimal erreichte Lastfaktor betrug $k = 0,25$ in der Tief- und Hochsicke.

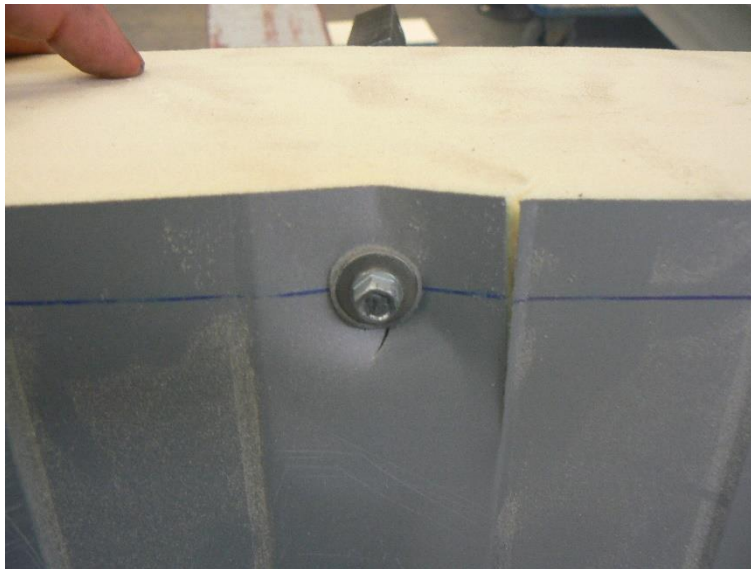


Bild 7.109: Schadensbild nach zyklischer Belastung

FS 3:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,55$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FS_dest_5_1	22,18	2,98	2,98	0,50	0,44	Hochsicke
FS_dest_5_2	28,91	3,00	3,00			
FS_dest_5_3	22,20	2,79	2,79			Tiefsicke
FS_dest_5_4	21,79	2,91	2,91			
FS_dest_5_5	20,35	2,82	2,82			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	2,90	2,90			
Standardabw.:	$s =$	0,03	0,03			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,67	2,67			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	w _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	
FS_dezy_6_1	0,5	1,45	0,14	8,65	1,68	1,68	Tiefsicke, Grenzwert unterschritten
FS_dezy_6_2	0,4	1,16	0,12	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 2600 LW
FS_dezy_6_3	0,3	0,87	0,09	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 4500 LW
FS_dezy_6_4	0,25	0,72	0,07	11,25	1,29	1,29	Tiefsicke
FS_dezy_6_5				20,28	2,38	2,38	
FS_dezy_6_6				12,42	1,71	1,71	
FS_dezy_6_7	0,5	1,45	0,14	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 2900 LW
FS_dezy_6_8	0,4	1,16	0,12	9,42	1,62	1,62	Hochsicke, Riss am Sickensteg
FS_dezy_6_9				-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4200 LW
FS_dezy_6_10	0,3	0,87	0,09	10,48	1,52	1,52	Hochsicke, Riss am Sickensteg
FS_dezy_6_11				-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4800 LW
FS_dezy_6_12	0,25	0,72	0,07	14,42	1,98	1,98	Hochsicke
FS_dezy_6_13				17,79	2,52	2,52	
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	1,98	1,98		
Standardabweichung:			s =	0,27	0,27		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	0,99	0,99		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	0,94		(für k = 0,25)	

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor k = 0,25 berücksichtigt.

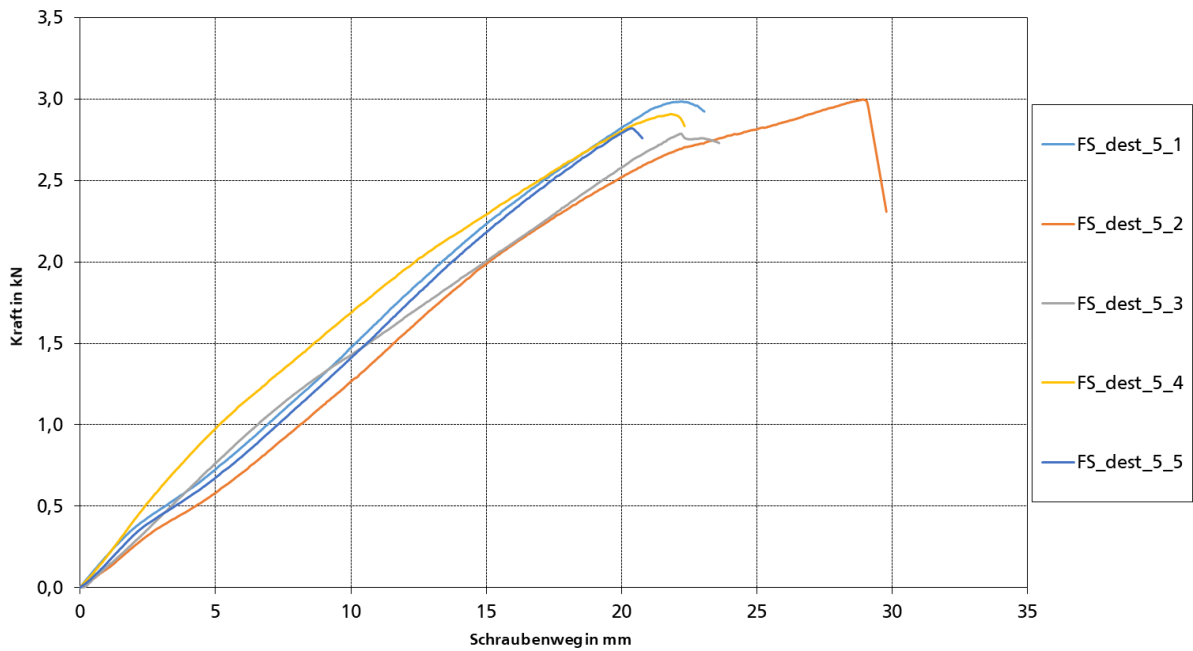


Bild 7.110: statische Auszugversuche

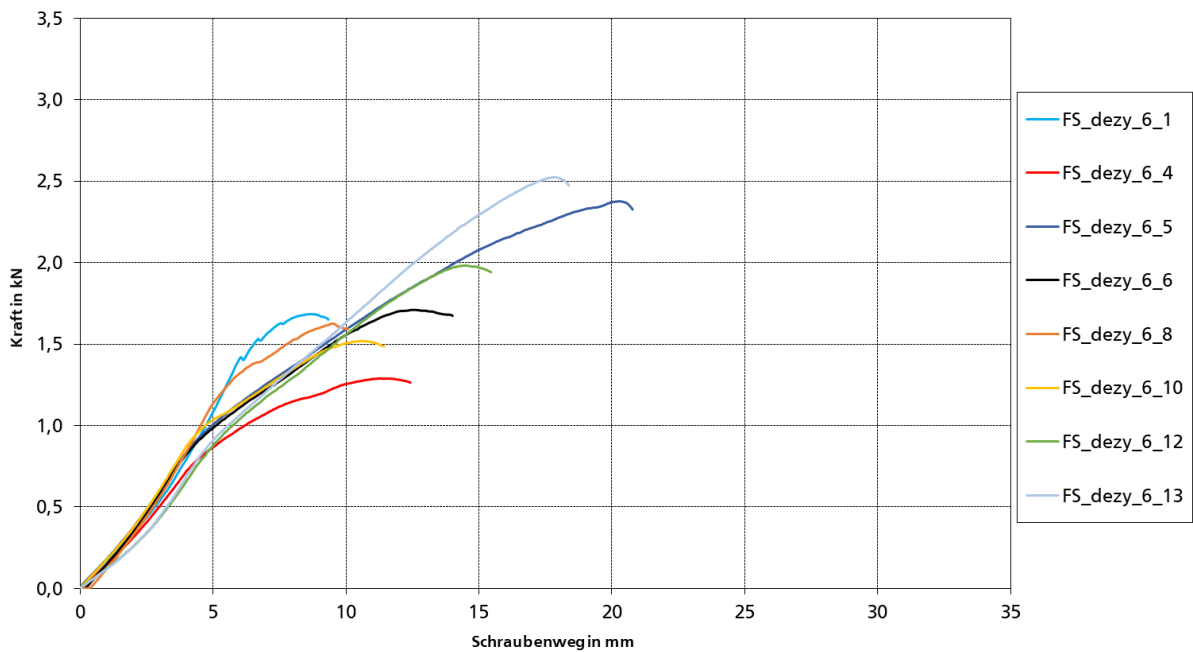


Bild 7.111: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

FS 7:

Parameter	
Sandwich:	FISCHER (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,63$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am äußeren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
FS_dest_13_1	27,58	3,40	3,40	0,57	0,44	Hochsicke
FS_dest_13_2	27,14	3,28	3,28			
FS_dest_13_3	25,50	3,26	3,26			Tiefsicke
FS_dest_13_4	30,73	3,37	3,37			
FS_dest_13_5	24,96	3,18	3,18			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,30	3,30			
Standardabw.:	$s =$	0,03	0,03			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,09	3,09			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	W _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	
FS_dezy_14_1	0,5	1,65	0,16	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 2300 LW
FS_dezy_14_2	0,4	1,32	0,13	-	-	-	
FS_dezy_14_3	0,3	0,99	0,10	12,28	1,83	1,83	Tiefsicke
FS_dezy_14_4				11,03	1,40	1,40	
FS_dezy_14_5				-	-	-	
FS_dezy_14_6	0,5	1,65	0,16	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4200 LW
FS_dezy_14_7	0,4	1,32	0,13	-	-	-	Hochsicke, großer Riss am Steg nach 4400 LW
FS_dezy_14_8				15,53	2,93	2,93	
FS_dezy_14_9	0,35	1,15	0,12	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4700 LW
FS_dezy_14_10	0,3	0,99	0,10	20,18	3,00	3,00	Hochsicke
FS_dezy_14_11				19,02	2,88	2,88	
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	2,28	2,28	(für k = 0,3)	
Standardabweichung:			s =	0,37	0,37		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	0,81	0,81		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3 · k · F _{Rt,stat} =	1,29			

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor k = 0,3 berücksichtigt.

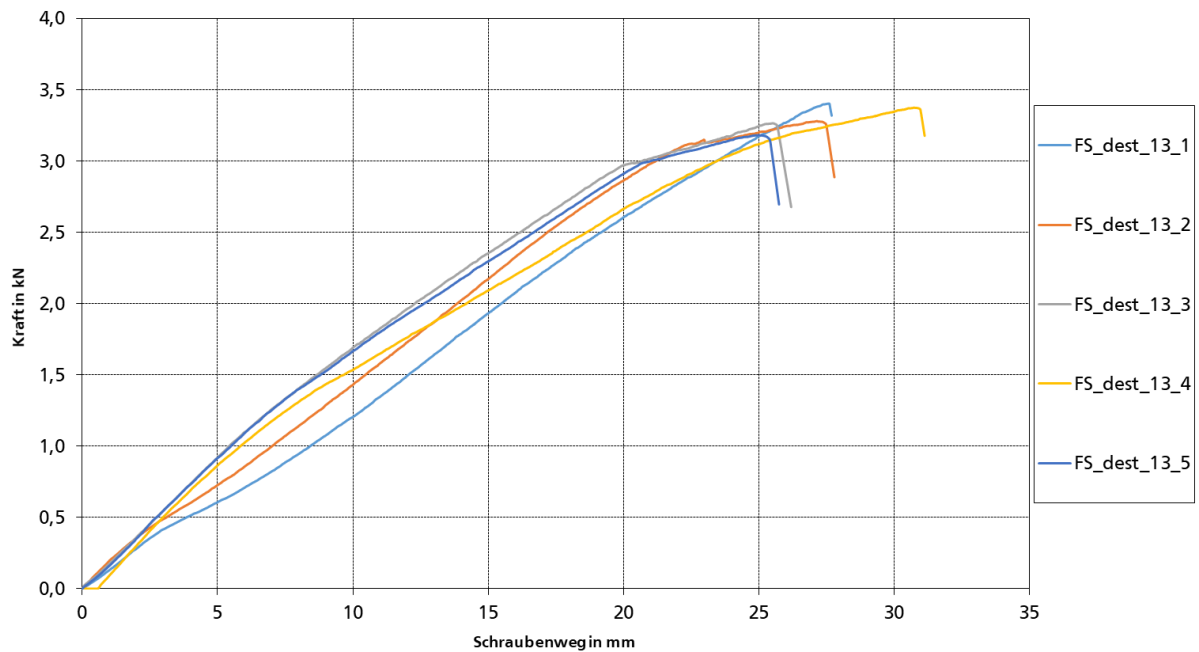


Bild 7.112: statische Auszugversuche

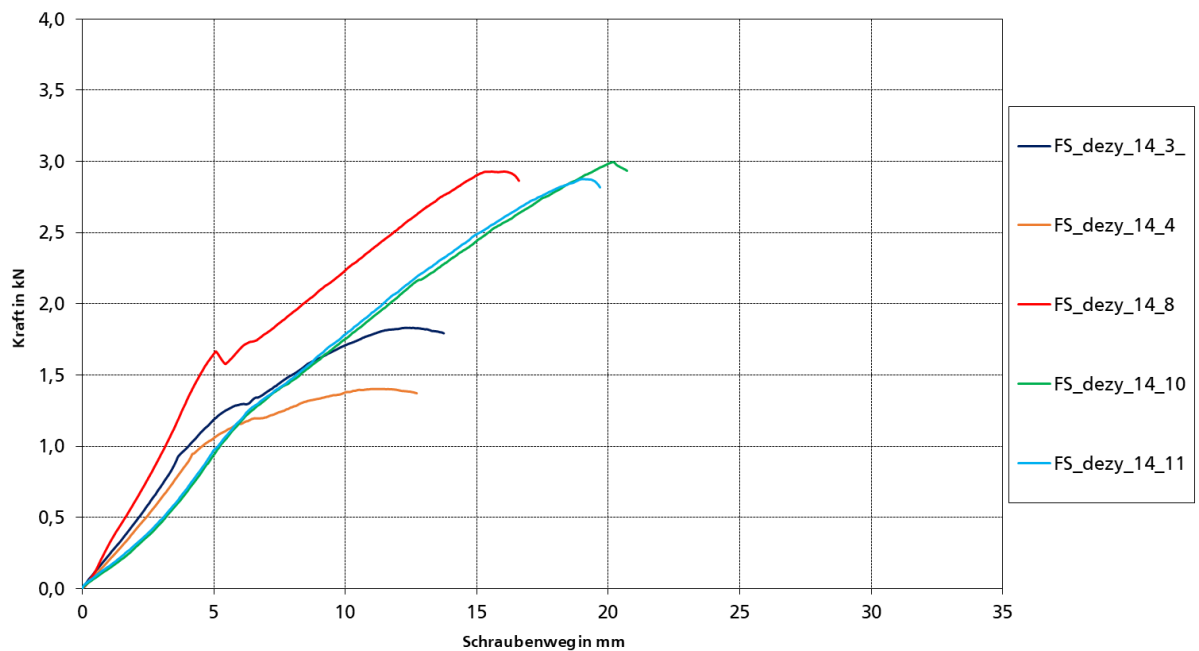


Bild 7.113: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.7 AE – ARCELOR/EJOT

Es folgt die Darstellung der Versuchsergebnisse aus der Kombination des Elementherstellers ARCELOR (PUR-Schaum) mit dem Schraubenhersteller EJOT getrennt nach Versuchen am Mittelaufleger und Endaufleger.

7.7.1 Mittelaufleger

Die Versuchskörper dieser Versuchsreihe versagten aufgrund von Durchknöpfen des Schraubenkopfes mitsamt der Unterlegscheibe durch das Deckblech.

Während der zyklischen Belastung traten in einigen Versuchen Ermüdungsrisse an den benachbarten Sickenstegen auf, welche ein vorzeitiges Durchknöpfen auslösten oder bewirkten, dass der Grenzwert im anschließenden Auszugversuch nicht erreicht wurde. Dieser Effekt trat verstärkt bei einer Schraubenlage in der Hochsicke auf. Hier wurde ein Lastfaktor von $k = 0,3$ erreicht, wobei lediglich ein Versuch durchgeführt werden konnte. Die Versuche in der Tiefsicke erreichten einen Faktor von $k = 0,4$.

AE 1:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	EJOT (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	W_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AE_dmst_1_1	11,68	3,34	3,34	0,47	0,46	Tiefsicke
AE_dmst_1_2	11,54	3,25	3,25			
AE_dmst_1_3	11,59	3,43	3,43			
AE_dmst_1_4	11,53	3,27	3,27			
AE_dmst_1_5	12,42	3,43	3,43			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,34	3,34			
Standardabw.:	$s =$	0,03	0,03			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,14	3,14			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	W_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
AE_dmzy_2_1	0,5	1,67	0,17	7,63	1,97	1,97	Tiefsicke, Rissbildung im Blech, Grenzwert unterschritten
AE_dmzy_2_2	0,45	1,50	0,15	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 4300 LW
AE_dmzy_2_3	0,4	1,34	0,13	11,40	2,75	2,75	Tiefsicke
AE_dmzy_2_4				8,26	2,62	2,62	
AE_dmzy_2_5				8,95	2,11	2,11	
AE_dmzy_2_6	0,3	1,00	0,10	12,58	2,58	2,58	Hochsicke
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	2,49	2,49		
Standardabweichung:			$s =$	0,14	0,14		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	1,58	1,58		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	1,30		(für k = 0,3)	

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche in der Tiefsicke ($k = 0,4$) berücksichtigt. In der Hochsicke konnte nur ein Versuch durchgeführt werden ($k = 0,3$). Dieser wurde daher nicht bei der Auswertung (Kap. 8) berücksichtigt.

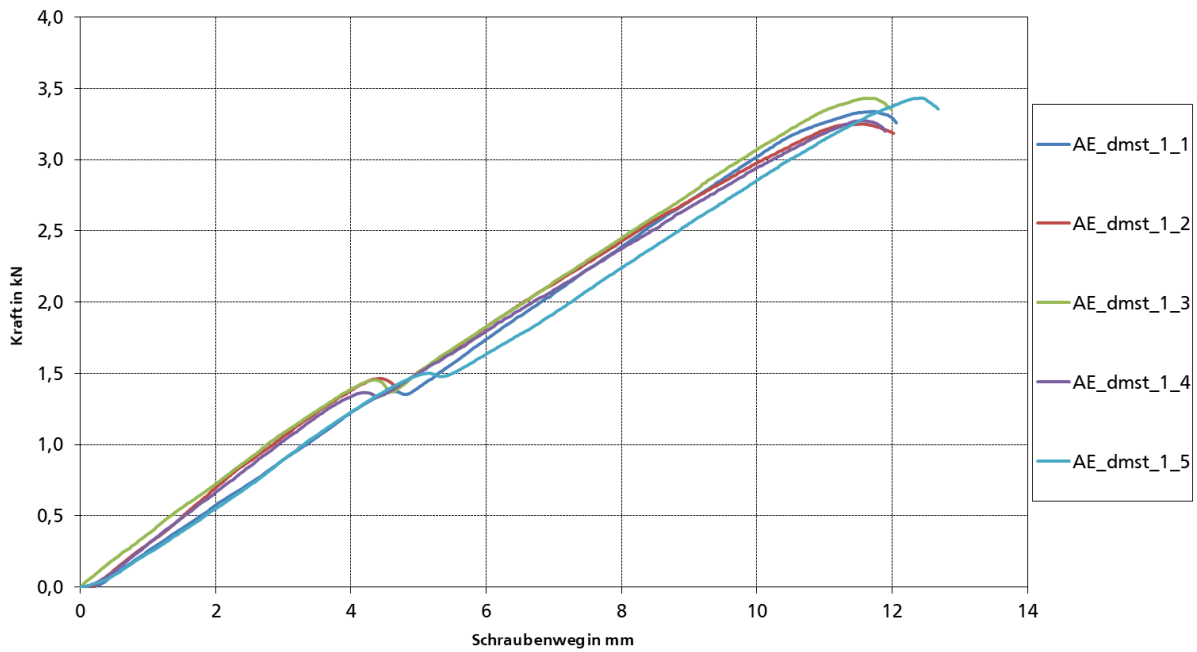


Bild 7.114: statische Auszugversuche

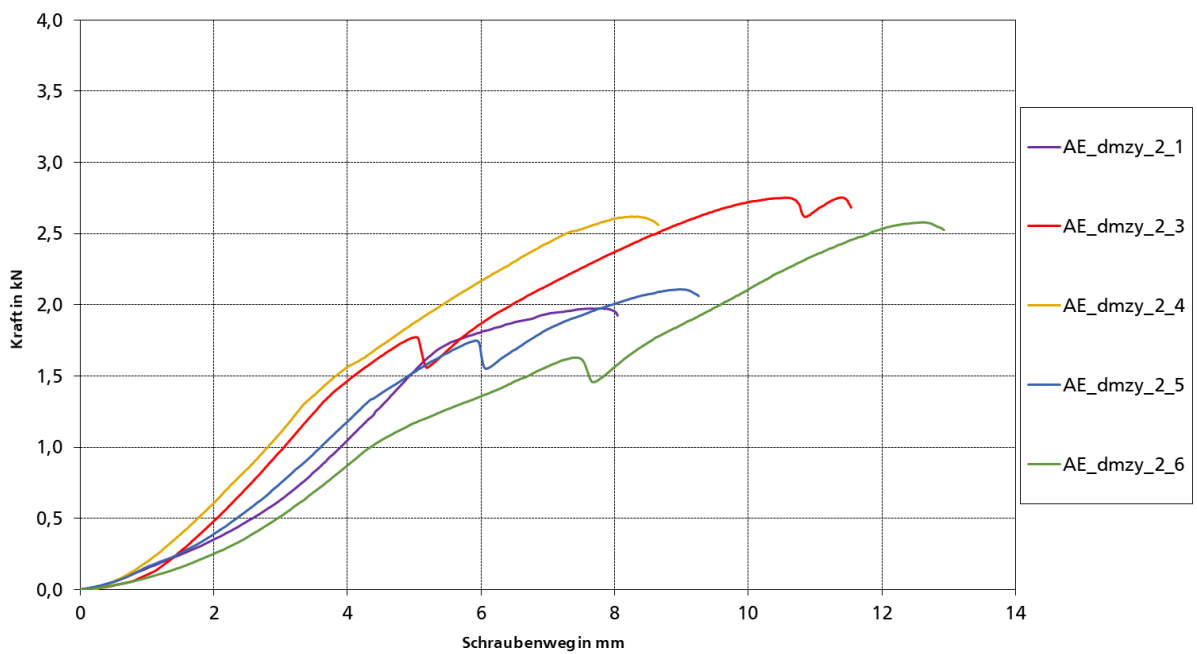


Bild 7.115: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.8 AH – ARCELOR/HILTI

Es folgt die Darstellung der Versuchsergebnisse aus der Kombination des Elementherstellers ARCELOR (PUR-Schaum) mit dem Schraubenhersteller HILTI getrennt nach Versuchen am Mittelaufleger und Endaufleger.

7.8.1 Mittelaufleger

Die Versuchskörper dieser Versuchsreihe versagten aufgrund von Durchknöpfen des Schraubenkopfes mitsamt der Unterlegscheibe durch das Deckblech.

Während der zyklischen Belastung traten in einigen Versuchen Ermüdungsrisse an den benachbarten Sickenstegen auf, welche ein vorzeitiges Durchknöpfen auslösten oder bewirkten, dass der Grenzwert im anschließenden Auszugversuch nicht erreicht wurde. Dieser Effekt trat verstärkt bei einer Schraubenlage in der Hochsicke auf. Hier wurde ein minimaler Lastfaktor von $k = 0,3$ erreicht. Die Versuche in der Tiefsicke erreichten einen Faktor von $k = 0,4$.

AH 1:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AH_dmst_9_1	11,91	3,46	3,46	0,47	0,46	Tiefsicke
AH_dmst_9_2	12,45	3,83	3,83			
AH_dmst_9_3	10,35	3,24	3,24			
AH_dmst_9_4	10,98	3,58	3,58			
AH_dmst_9_5	11,37	3,31	3,31			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,48	3,48			
Standardabw.:	$s =$	0,07	0,07			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,95	2,95			

Belastung	zykl., $n = 5000, 4$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
AH_dmzy_10_1	0,5	1,74	0,17	7,58	2,11	2,11	Tiefsicke, Rissbildung im Blech, Grenzwert nicht erreicht
AH_dmzy_10_2	0,45	1,57	0,16	7,63	1,96	1,96	
AH_dmzy_10_3	0,4	1,39	0,14	8,74	1,91	1,91	Tiefsicke, Grenzwert erreicht
AH_dmzy_10_4	0,35	1,22	0,12	11,15	3,49	3,49	Tiefsicke
AH_dmzy_10_5				-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen nach 4700 LW
AH_dmzy_10_6	0,3	1,04	0,10	10,59	2,19	2,19	Hochsicke
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	-	-		
Standardabweichung:			$s =$	-	-		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	-	-		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	1,36		(für $k = 0,3$)	

In der Tiefsicke wurde ein Lastfaktor $k = 0,4$ erreicht. In der Hochsicke konnte nur ein Versuch durchgeführt werden ($k = 0,3$). Dieser wurde daher nicht bei der Auswertung (Kap. 8) berücksichtigt.

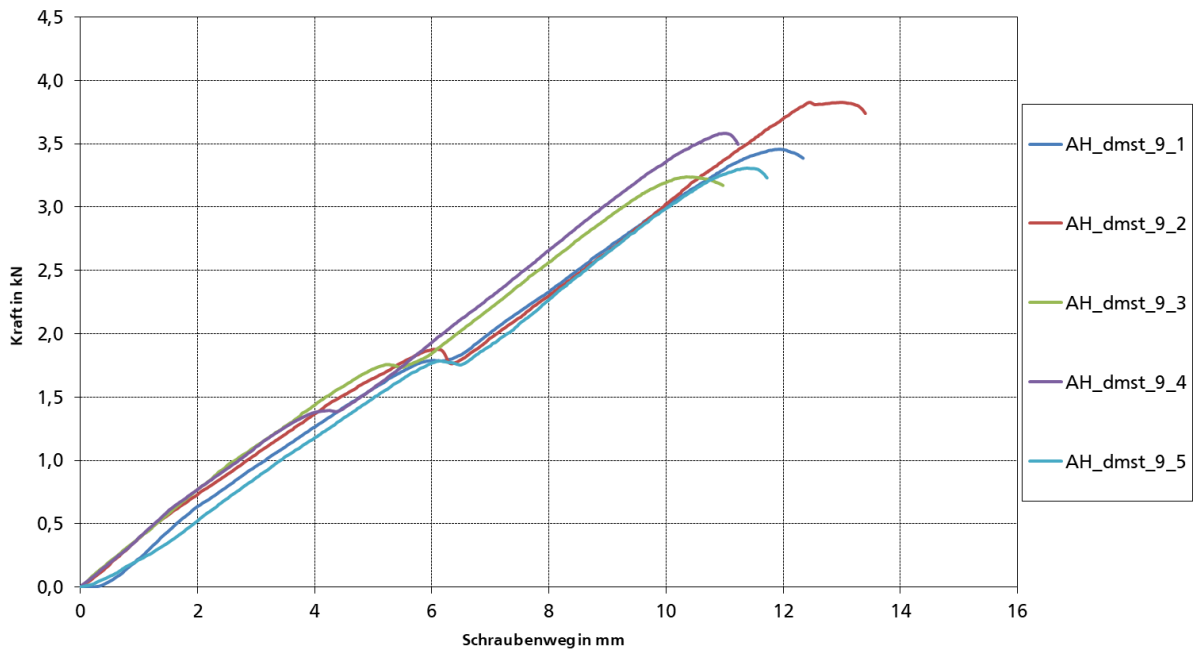


Bild 7.116: statische Auszugversuche

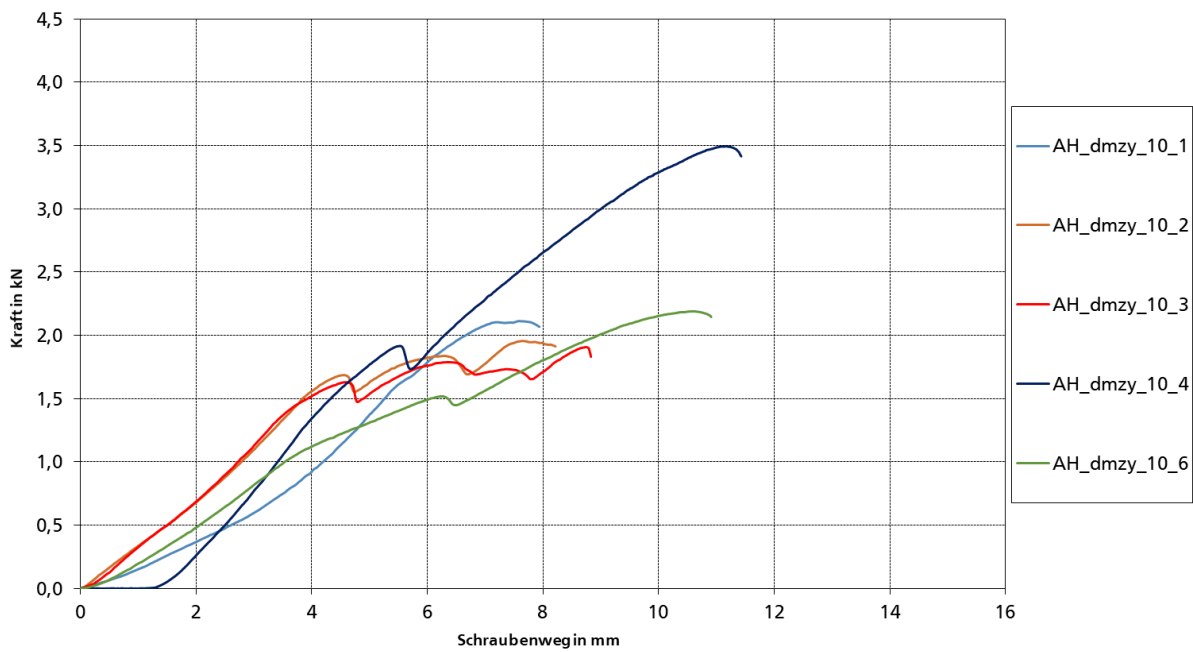


Bild 7.117: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

AH 3:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AH_dmst_13_1	12,53	3,62	3,62	0,47	0,46	Tiefsicke
AH_dmst_13_2	11,86	3,50	3,50			
AH_dmst_13_3	11,29	3,55	3,55			
AH_dmst_13_4	11,77	3,53	3,53			
AH_dmst_13_5	11,09	3,35	3,35			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,51	3,51			
Standardabw.:	$s =$	0,03	0,03			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	3,26	3,26			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	W _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	Bemerkung
AH_dmzy_14_1	0,5	1,75	0,18	5,77	2,26	2,26	Tiefsicke, Rissbildung im Blech, Grenzwert noch erreicht
AH_dmzy_14_2	0,4	1,40	0,14	8,85	2,40	2,40	Tiefsicke
AH_dmzy_14_3				9,92	3,10	3,10	
AH_dmzy_14_4				8,47	2,56	2,56	
AH_dmzy_14_5	0,5	1,75	0,18	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen nach 4500 LW
AH_dmzy_14_6	0,4	1,40	0,14	10,20	2,15	2,15	Hochsicke
AH_dmzy_14_7				7,35	1,58	1,58	Hochsicke, Grenzwert nicht erreicht
AH_dmzy_14_8	0,35	1,23	0,12	9,00	1,81	1,81	Hochsicke, Rissbildung im Blech
AH_dmzy_14_9	0,3	1,05	0,11	12,89	2,58	2,58	Hochsicke
AH_dmzy_14_10				12,88	2,41	2,41	
AH_dmzy_14_11				11,47	2,37	2,37	
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	2,46	2,46		
Standardabweichung:			s =	0,05	0,05		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	2,12	2,12		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	1,37			(für k = 0,3)

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor k = 0,3 berücksichtigt (Hochsicke). In der Tiefsicke wurde ein Lastfaktor von k = 0,4 erreicht.

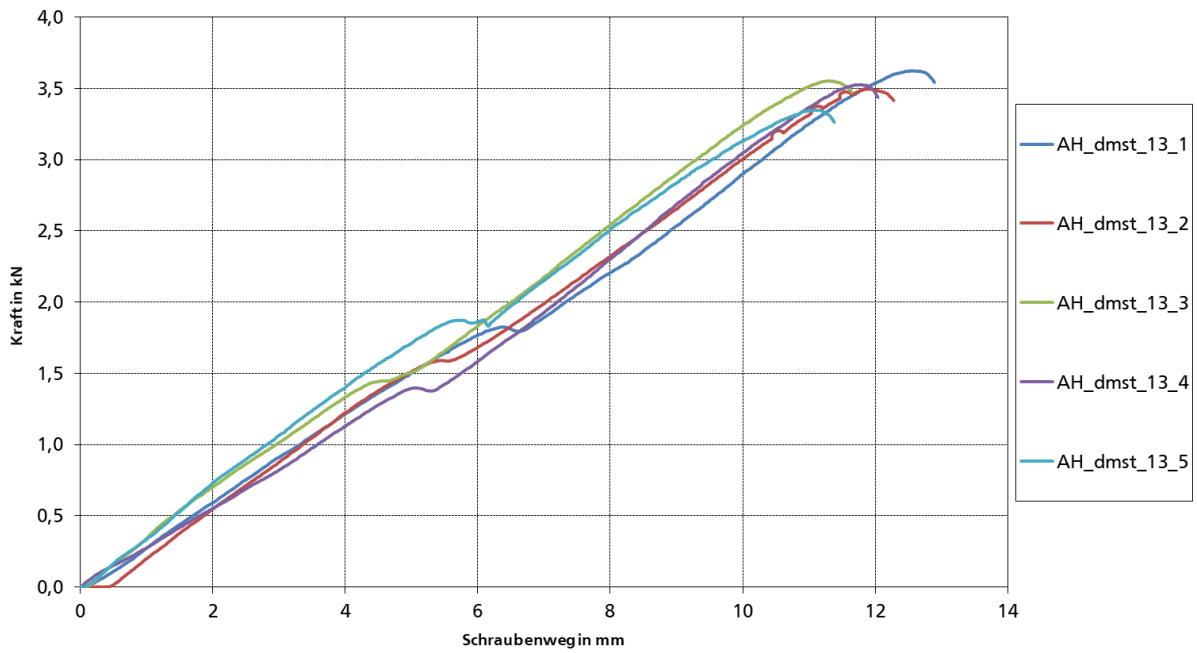


Bild 7.118: statische Auszugversuche

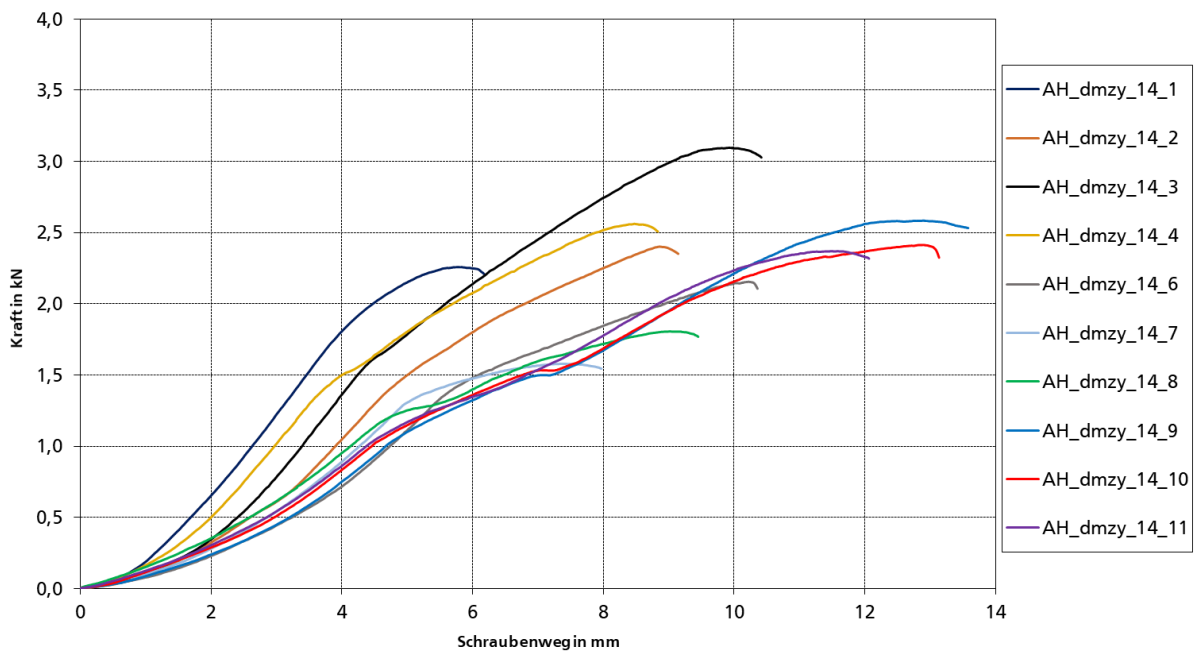


Bild 7.119: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

AH 5:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AH_dmst_21_1	12,62	3,51	3,51	0,46	0,46	Tiefsicke
AH_dmst_21_2	11,93	3,48	3,48			
AH_dmst_21_3	11,97	3,28	3,28			
AH_dmst_21_4	15,63	3,62	3,62			
AH_dmst_21_5	14,19	3,10	3,10			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,40	3,40			
Standardabw.:	$s =$	0,06	0,06			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,91	2,91			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
AH_dmzy_22_1	0,5	1,70	0,17	10,06	3,51	3,51	Tiefsicke
AH_dmzy_22_2				9,56	3,35	3,35	Hochsicke
AH_dmzy_22_3				7,00	1,92	1,92	Hochsicke, Querrisse, Grenzwert nicht erreicht
AH_dmzy_22_4	0,4	1,36	0,14	9,82	2,41	2,41	Hochsicke
AH_dmzy_22_5				9,78	2,38	2,38	
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	-	-		
Standardabweichung:			$s =$	-	-		
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	-	-		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	1,77			(für k = 0,4)

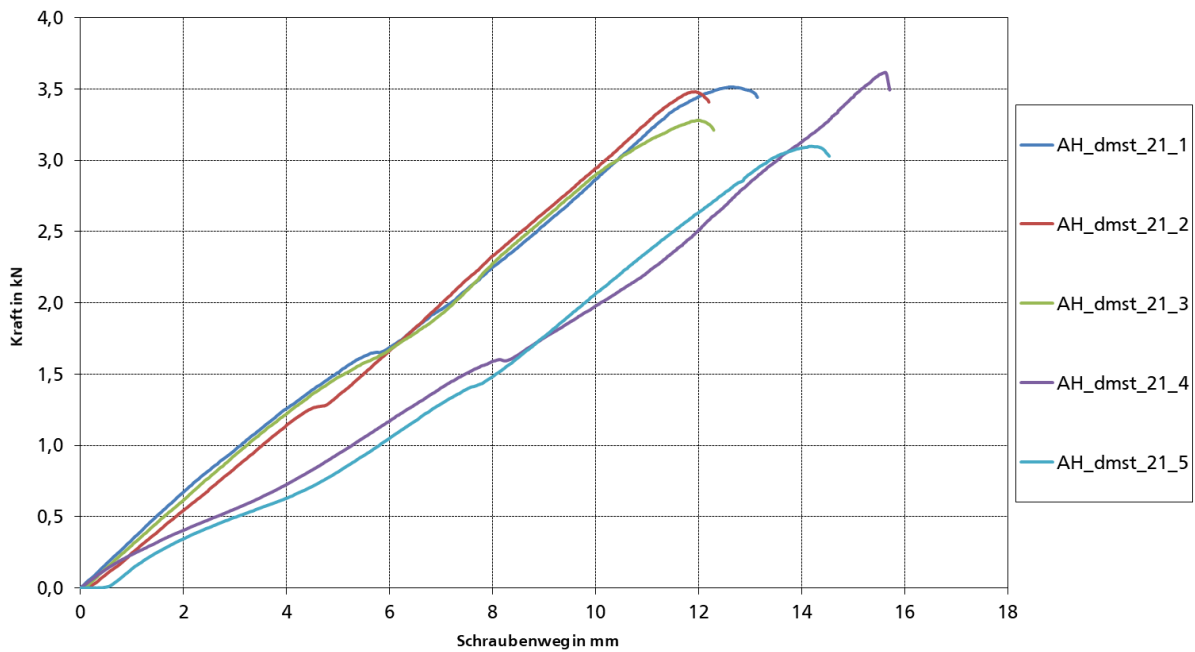


Bild 7.120: statische Auszugversuche

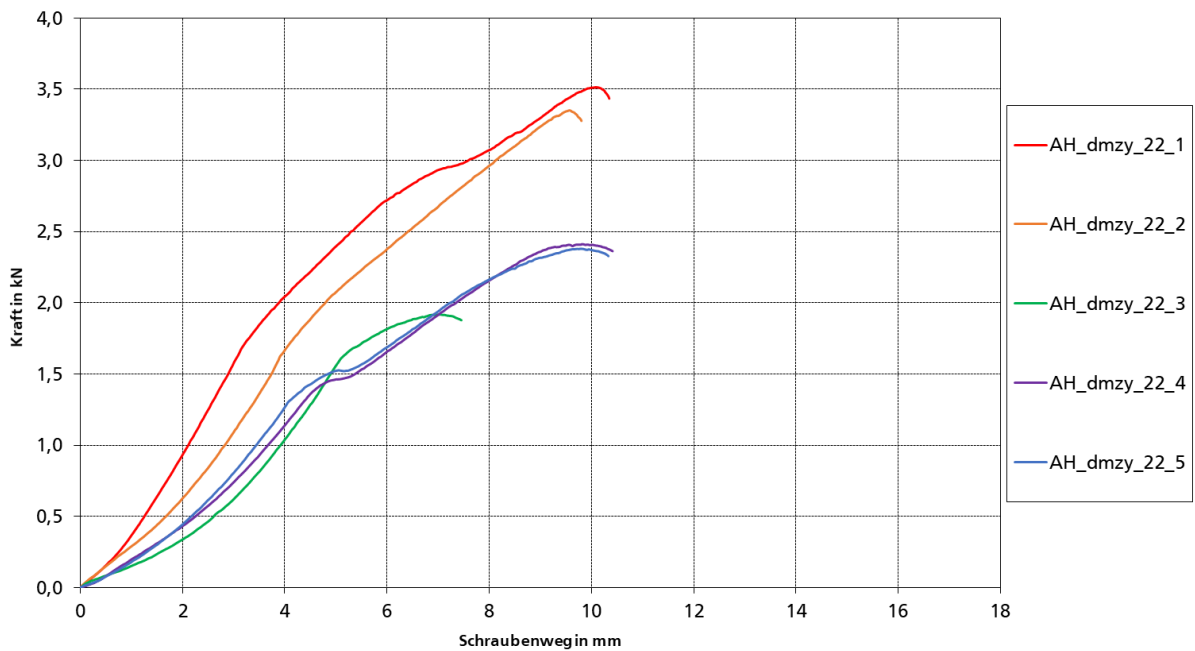


Bild 7.121: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.8.2 Endauflager

Die Versuche wurden mit einem Randabstand von 20 mm durchgeführt. In den statischen Versuchen erfolgte das Versagen durch Durchknöpfen und Durchreißen des Deckblechs zum Elementrand. In den zugehörigen zyklischen Versuchen traten häufig Risse an den benachbarten Sickenstegen oder zwischen Bohrung und Elementrand auf, welche zum vorzeitigen Versagen führten oder sich im anschließenden Auszugversuch weiter öffneten. Die zyklischen Versuche wurden in der Hochsicke und in der Tiefsicke durchgeführt. Der minimal erreichte Lastfaktor betrug $k = 0,25$ in der Tief- und Hochsicke. In Versuchsreihe AH2 trat das Versagen in der Tiefsicke während der zyklischen Beanspruchung auf, in der Hochsicke wurde ein Lastfaktor von $k = 0,5$ erreicht.

AH 2:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AH_dest_11_1	20,76	2,66	2,66	0,47	0,46	Tiefsicke
AH_dest_11_2	25,84	3,05	3,05			
AH_dest_11_3	26,92	3,45	3,45			
AH_dest_11_4	29,07	3,44	3,44			
AH_dest_11_5	26,52	3,13	3,13			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,14	3,14			
Standardabw.:	$s =$	0,11	0,11			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,41	2,41			

Belastung	zykl., $n = 5000, 2,5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
AH_dezy_12_1	0,5	1,57	0,16	12,80	2,24	2,24	Hochsicke
AH_dezy_12_2				-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 2700 LW
AH_dezy_12_3	0,4	1,26	0,13	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 3700 LW
AH_dezy_12_4	0,3	0,94	0,09	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 3000 LW
AH_dezy_12_5	0,25	0,79	0,08	-	-	-	Tiefsicke, großer Riss im Deckblech nach 5000 LW, kein Auszugversuch
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$	-	-	-	
Standardabweichung:			$s =$	-	-	-	
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$	-	-	-	
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$	2,04			(für $k = 0,5$)

In der Hochsicke wurde ein Lastfaktor $k = 0,5$ erreicht. In der Tiefsicke trat das Versagen während der zyklischen Beanspruchung auf.

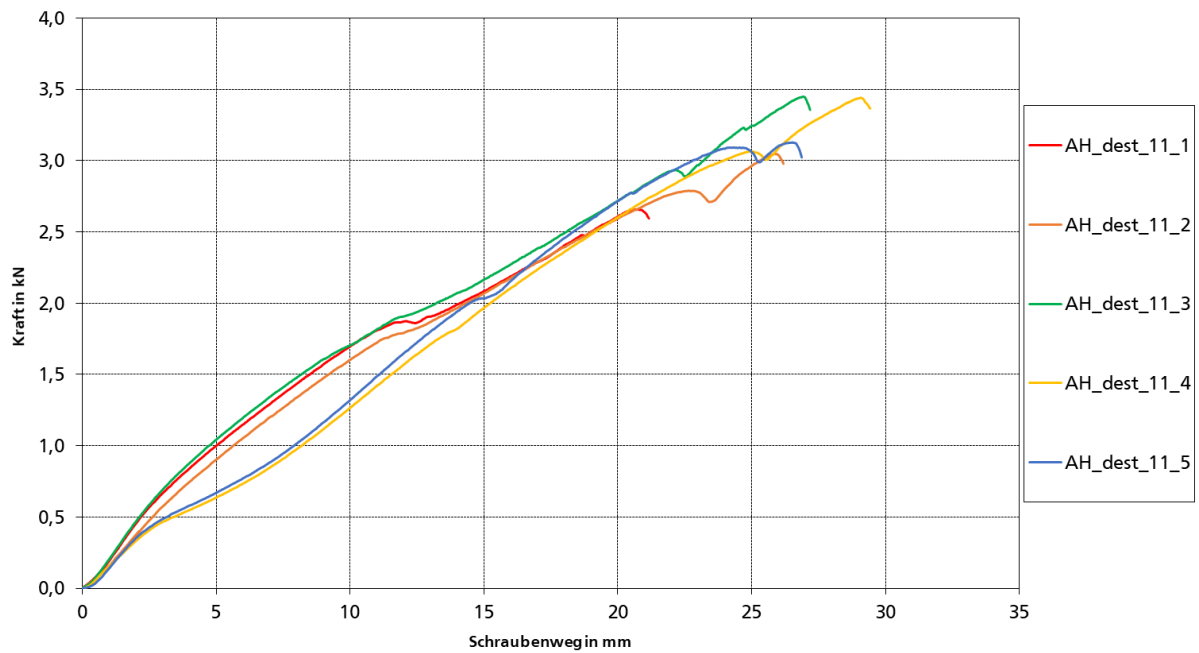


Bild 7.122: statische Auszugversuche

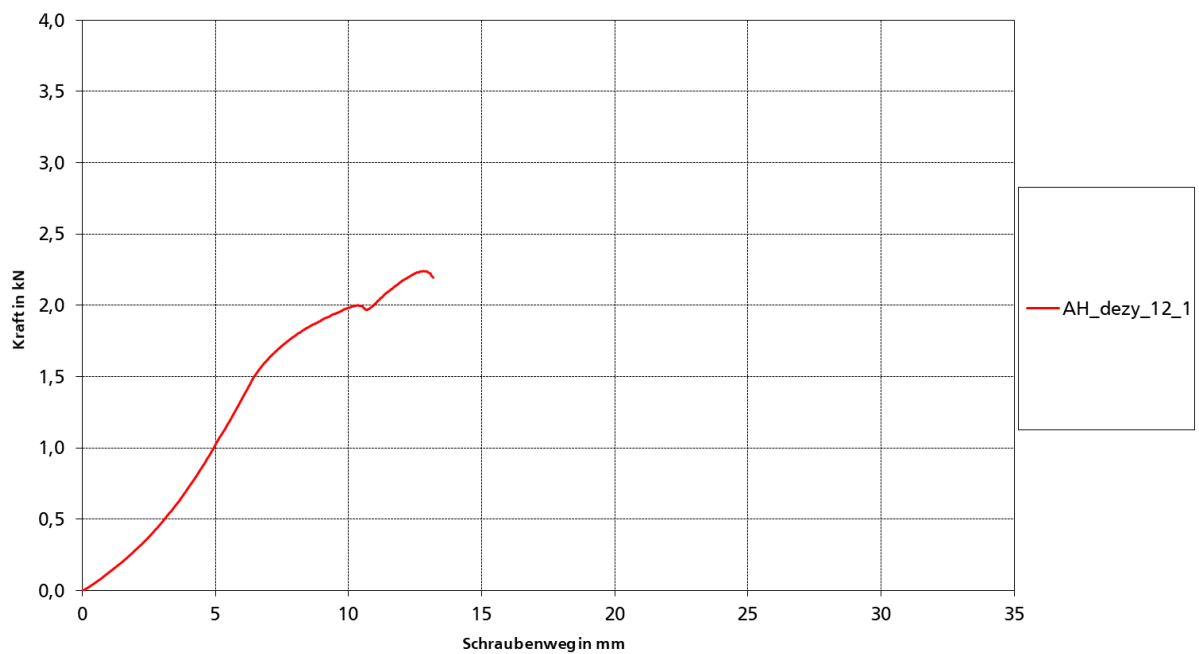


Bild 7.123: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

AH 4:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	W_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AH_dest_15_1	27,60	2,99	2,99	0,47	0,46	Tiefsicke
AH_dest_15_2	24,19	2,89	2,89			
AH_dest_15_3	25,86	2,86	2,86			
AH_dest_15_4	26,28	3,07	3,07			
AH_dest_15_5	24,70	2,87	2,87			Hochsicke
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	2,93	2,93			
Standardabw.:	$s =$	0,03	0,03			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,72	2,72			

Belastung	zykl., $n = 5000, 2,5$ Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
	k	F_o in kN	F_u in kN	W_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	
AH_dezy_16_1	0,5	1,47	0,15	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 3500 LW
AH_dezy_16_2	0,4	1,17	0,12	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 4000 LW
AH_dezy_16_3	0,3	0,88	0,09	11,39	1,40	1,40	Tiefsicke
AH_dezy_16_4				12,03	1,65	1,65	
AH_dezy_16_5				-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 4400 LW
AH_dezy_16_6	0,5	1,47	0,15	25,97	2,54	2,54	Hochsicke, 5 cm Riss am Sickensteg nach zykl. Belastung
AH_dezy_16_7	0,3	0,88	0,09	9,37	1,22	1,22	Tiefsicke
AH_dezy_16_8	0,4	1,17	0,12	14,44	2,30	2,30	Hochsicke
Mittelwert:			$F_{Rt,dyn} =$		1,42	1,42	
Standardabweichung:			$s =$		0,15	0,15	
5 %-Fraktilwert:			$F_{Rtk,dyn} =$		0,88	0,88	
Grenzwert Resttragfähigkeit:			$1,3 \cdot k \cdot F_{Rt,stat} =$		1,14		(für $k = 0,3$)

Die statist. Auswertung erfolgte für $k = 0,3$ (Tiefsicke). In der Hochsicke ergab sich $k = 0,4$.

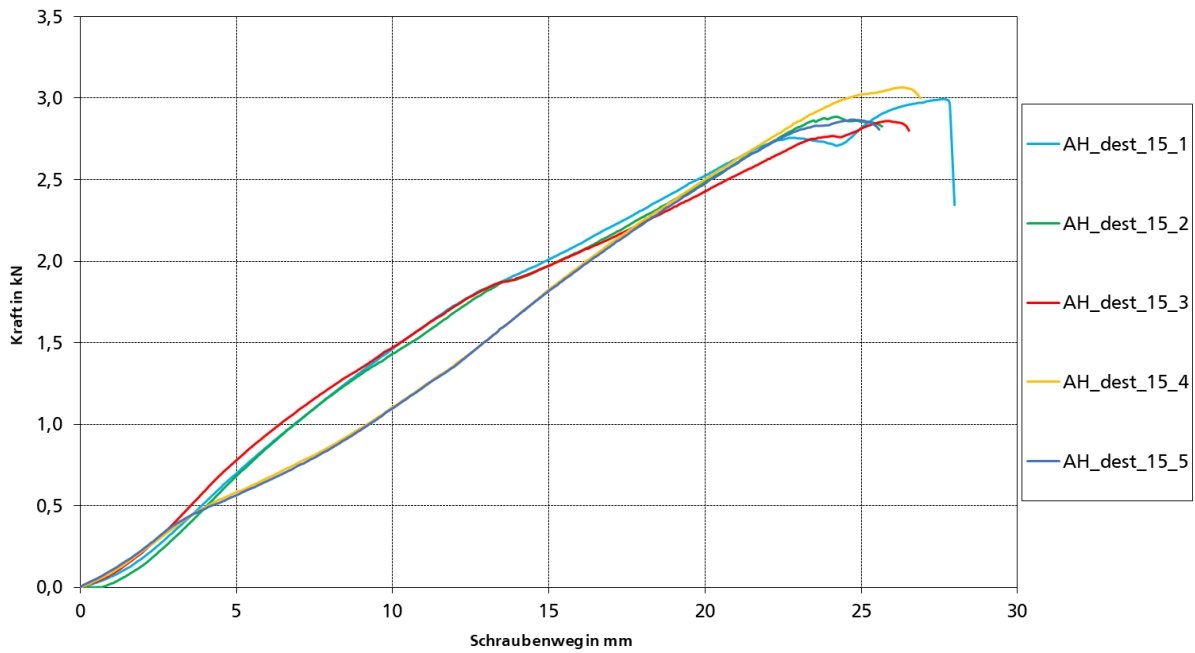


Bild 7.124: statische Auszugversuche

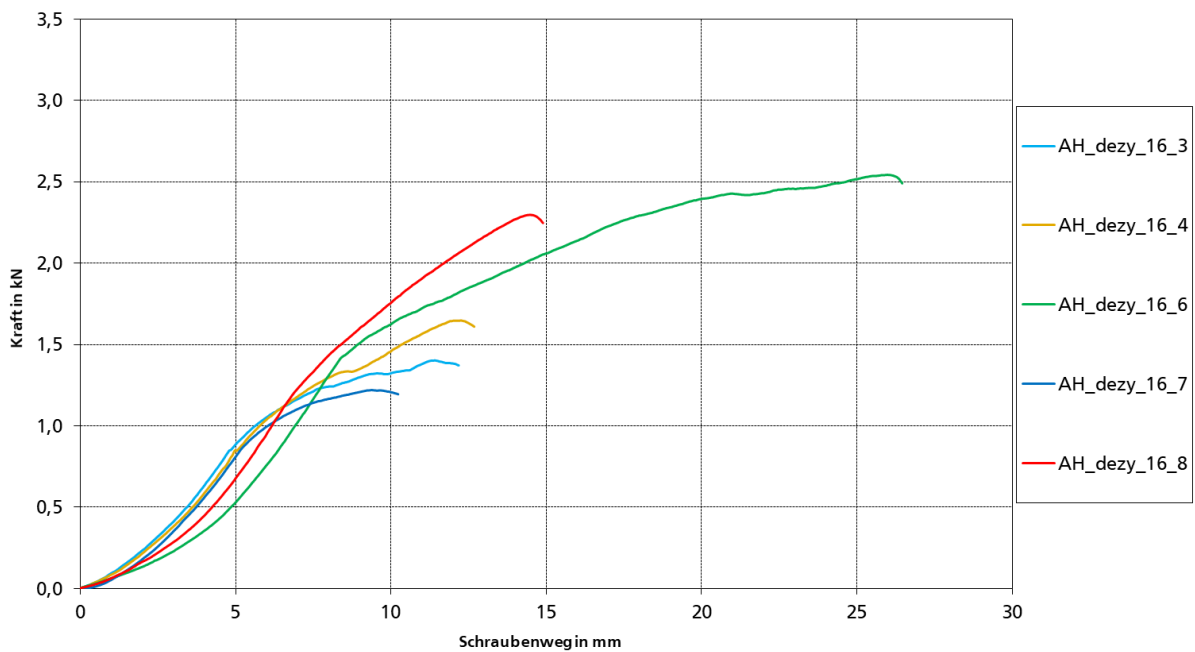


Bild 7.125: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

AH 6:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	HILTI (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	W_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AH_dest_23_1	23,90	2,94	2,94	0,46	0,46	Tiefsicke
AH_dest_23_2	28,58	3,35	3,35			
AH_dest_23_3	22,91	2,85	2,85			Hochsicke
AH_dest_23_4	23,31	3,00	3,00			
AH_dest_23_5	23,56	3,13	3,13			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,05	3,05			
Standardabw.:	$s =$	0,06	0,06			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,61	2,61			

Belastung	zykl., n = 5000, 2,5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	W _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	Bemerkung
AH_dezy_24_1	0,5	1,53	0,15	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4200 LW
AH_dezy_24_2	0,4	1,22	0,12	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 4250 LW
AH_dezy_24_3	0,3	0,92	0,09	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 2800 LW
AH_dezy_24_4	0,4	1,22	0,12	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen bei 2800 LW
AH_dezy_24_5	0,5	1,53	0,15	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 4500 LW
AH_dezy_24_6	0,4	1,22	0,12	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 4100 LW
AH_dezy_24_7	0,3	0,92	0,09	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen bei 3300 LW
AH_dezy_24_8	0,25	0,76	0,08	12,34	1,30	1,30	Tiefsicke
AH_dezy_24_9				14,12	1,37	1,37	Hochsicke
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	1,34	1,34		
Standardabweichung:			s =	-	-		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	-	-		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	0,99			(für k = 0,25)

In der Versuchsreihe wurde sowohl in der Hochsicke als auch in der Tiefsicke ein minimaler Lastfaktor von $k = 0,25$ erreicht.

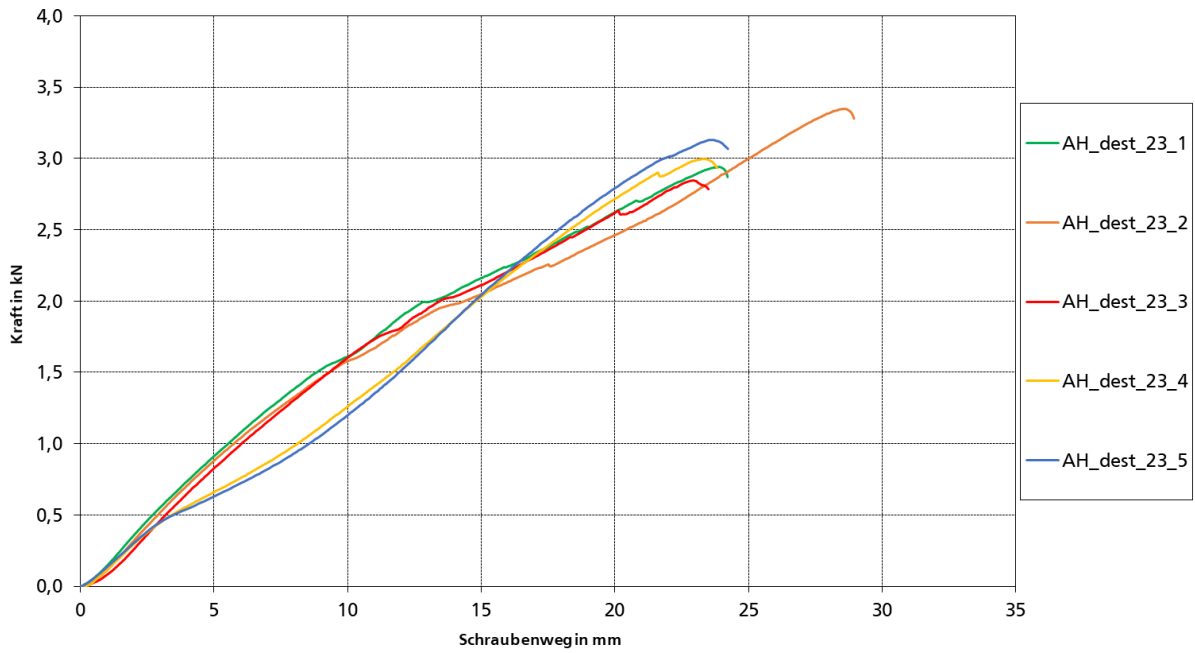


Bild 7.126: statische Auszugversuche

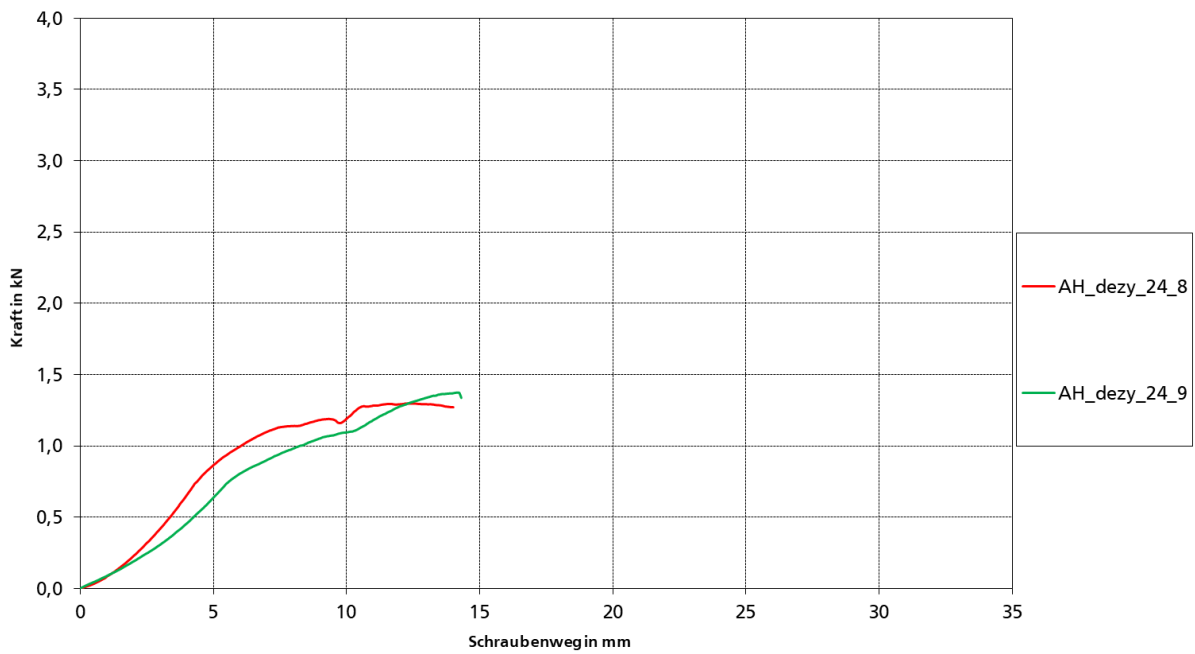


Bild 7.127: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.9 AS – ARCELOR/SFS

Es folgt die Darstellung der Versuchsergebnisse aus der Kombination des Elementherstellers ARCELOR (PUR-Schaum) mit dem Schraubenhersteller SFS getrennt nach Versuchen am Mittelaufleger und Endaufleger.

7.9.1 Mittelaufleger

Die Versuchskörper dieser Versuchsreihe versagten aufgrund von Durchknöpfen des Schraubenkopfes mitsamt der Unterlegscheibe durch das Deckblech.

Während der zyklischen Belastung traten in einigen Versuchen Ermüdungsrisse an den benachbarten Sickenstegen auf, welche ein vorzeitiges Durchknöpfen auslösten oder bewirkten, dass der Grenzwert im anschließenden Auszugversuch nicht erreicht wurde. Dieser Effekt trat verstärkt bei einer Schraubenlage in der Hochsicke auf. Hier wurde ein minimaler Lastfaktor von $k = 0,3$ erreicht. Die Versuche in der Tiefsicke erreichten einen Faktor von $k = 0,4$.

AS 1:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AS_dmst_9_1	10,05	2,96	2,96	0,47	0,46	Tiefsicke
AS_dmst_9_2	11,17	3,20	3,20			
AS_dmst_9_3	10,71	2,98	2,98			
AS_dmst_9_4	10,41	3,08	3,08			
AS_dmst_9_5	14,15	2,95	2,95			Hochsicke
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,03	3,03			
Standardabw.:	$s =$	0,03	0,03			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,79	2,79			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	w _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	Bemerkung
AS_dmzy_10_1	0,5	1,52	0,15	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen nach 4200 LW
AS_dmzy_10_2	0,4	1,21	0,12	6,43	1,82	1,82	Tiefsicke
AS_dmzy_10_3				7,79	2,19	2,19	
AS_dmzy_10_4				9,20	2,58	2,58	
AS_dmzy_10_5	0,5	1,52	0,15	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen nach 3800 LW
AS_dmzy_10_6	0,4	1,21	0,12	5,33	1,27	1,27	Hochsicke, Rissbildung im Blech, Grenzwert nicht erreicht
AS_dmzy_10_7	0,35	1,06	0,11	7,09	1,08	1,08	
AS_dmzy_10_8	0,3	0,91	0,09	9,87	1,62	1,62	Hochsicke
AS_dmzy_10_9				10,70	1,90	1,90	
AS_dmzy_10_10				11,15	2,07	2,07	
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	1,86	1,86		
Standardabweichung:			s =	0,12	0,12		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	1,26	1,26		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	1,18			(für k = 0,3)

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor k = 0,3 berücksichtigt (Hochsicke). In der Tiefsicke wurde ein Lastfaktor von k = 0,4 erreicht.

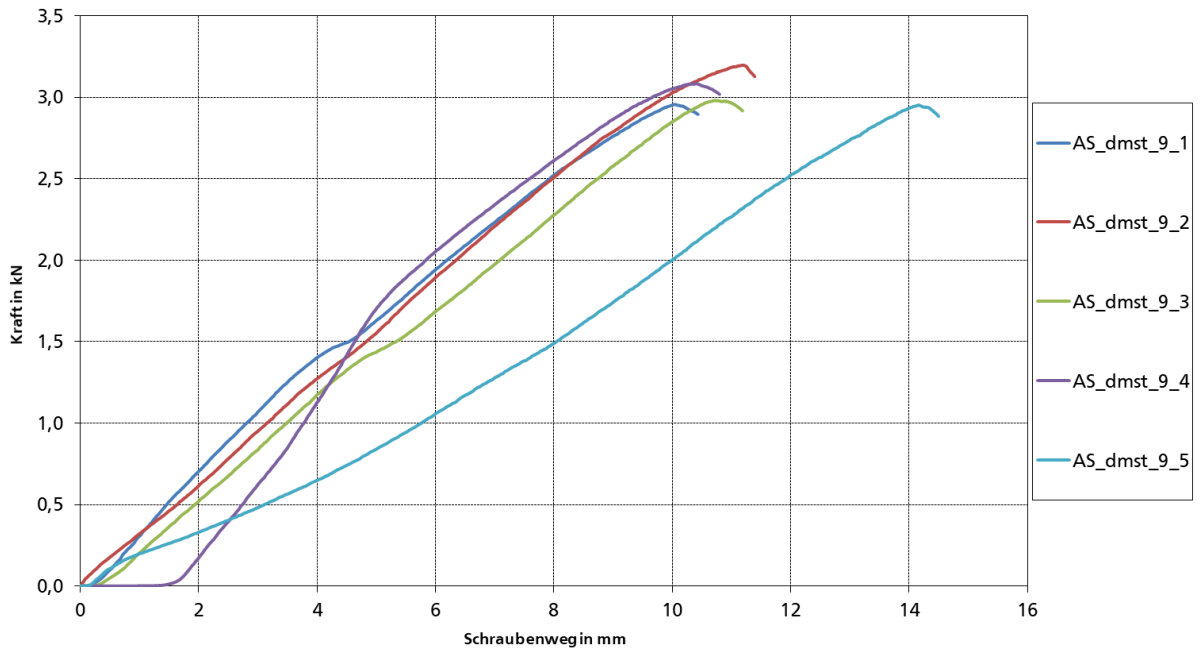


Bild 7.128: statische Auszugversuche

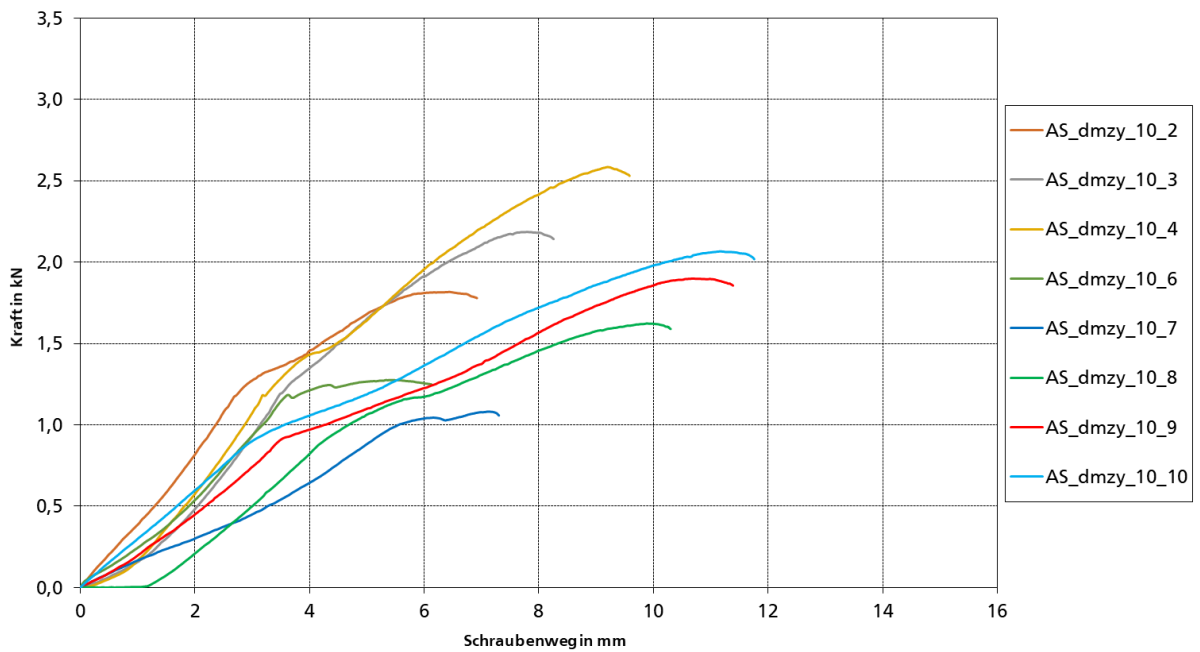


Bild 7.129: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

AS 3:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AS_dmst_13_1	9,90	3,26	3,26	0,47	0,46	Tiefsicke
AS_dmst_13_2	12,92	3,13	3,13			Hochsicke
AS_dmst_13_3	12,58	3,02	3,02			Tiefsicke
AS_dmst_13_4	10,08	3,29	3,29			Hochsicke
AS_dmst_13_5	14,29	3,53	3,53			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,25	3,25			
Standardabw.:	$s =$	0,06	0,06			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,80	2,80			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	w _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	
AS_dmzy_14_1	0,5	1,62	0,16	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen nach 3900 LW
AS_dmzy_14_2	0,4	1,30	0,13	6,42	1,86	1,86	Tiefsicke
AS_dmzy_14_3				7,47	2,20	2,20	
AS_dmzy_14_4				7,95	2,12	2,12	
AS_dmzy_14_5	0,5	1,62	0,16	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen nach 4000 LW
AS_dmzy_14_6	0,4	1,30	0,13	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen nach 4400 LW
AS_dmzy_14_7	0,3	0,97	0,10	11,52	2,73	2,73	Hochsicke
AS_dmzy_14_8				11,33	2,73	2,73	
AS_dmzy_14_9				12,51	2,44	2,44	
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	2,63	2,63		
Standardabweichung:			s =	0,07	0,07		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	2,14	2,14		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	1,27		(für k = 0,3)	

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor k = 0,3 berücksichtigt (Hochsicke). In der Tiefsicke wurde ein Lastfaktor von k = 0,4 erreicht.

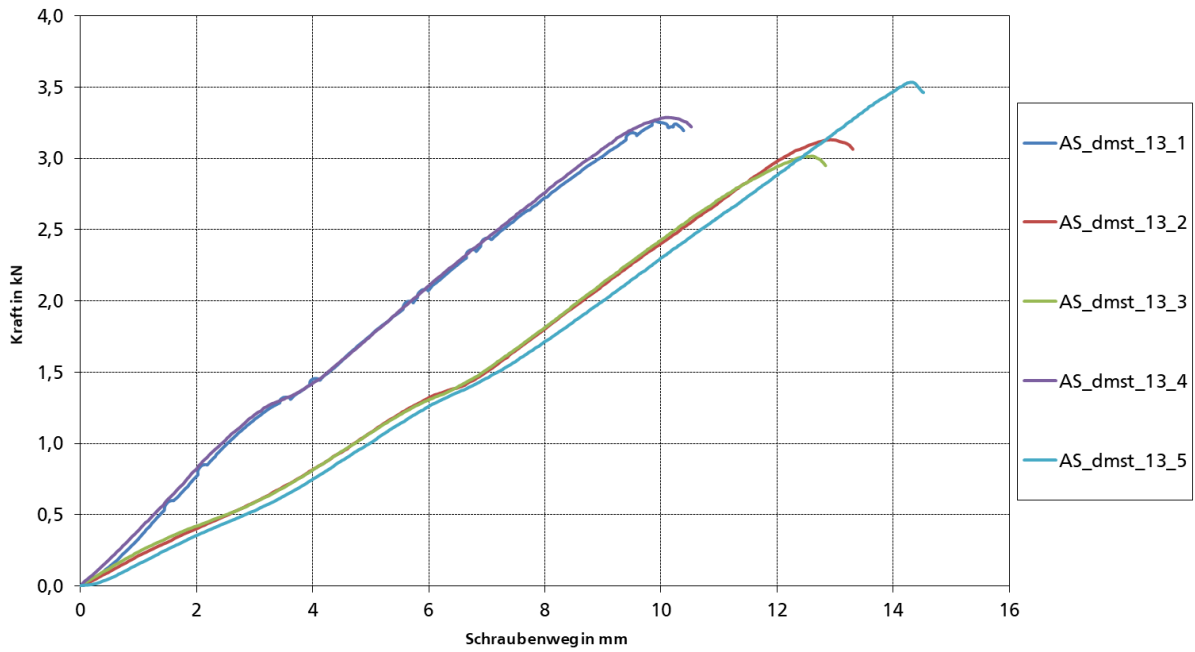


Bild 7.130: statische Auszugversuche

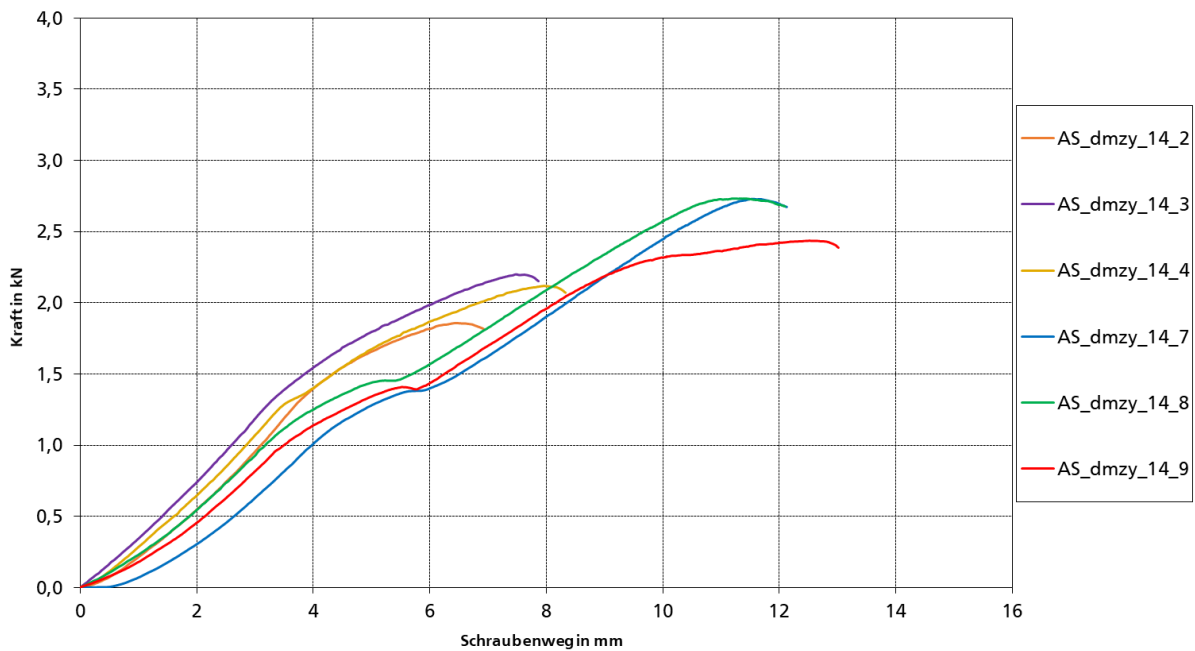


Bild 7.131: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

AS 5:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe Ø16 mm)
Versuchslage:	Mittelaufleger, Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	w_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AS_dmst_21_1	10,67	3,45	3,45	0,46	0,46	Tiefsicke
AS_dmst_21_2	11,57	3,60	3,60			
AS_dmst_21_3	13,91	3,24	3,24			Hochsicke
AS_dmst_21_4	12,83	2,93	2,93			
AS_dmst_21_5	13,19	3,06	3,06			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,26	3,26			
Standardabw.:	$s =$	0,08	0,08			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,64	2,64			

Belastung	zykl., n = 5000, 4 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	w _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	
AS_dmzy_22_1	0,5	1,63	0,16	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen nach 4400 LW
AS_dmzy_22_2	0,4	1,30	0,13	9,58	2,83	2,83	Tiefsicke
AS_dmzy_22_3				8,01	2,36	2,36	
AS_dmzy_22_4				7,88	2,33	2,33	
AS_dmzy_22_5	0,5	1,63	0,16	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen nach 3700 LW
AS_dmzy_22_6	0,4	1,30	0,13	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen nach 4300 LW
AS_dmzy_22_7	0,3	0,98	0,10	12,39	2,42	2,42	Hochsicke
AS_dmzy_22_8				12,32	2,42	2,42	
AS_dmzy_22_9				11,84	1,69	1,69	
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	2,18	2,18		
Standardabweichung:			s =	0,21	0,21		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	1,12	1,12		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	1,27		(für k = 0,3)	

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor k = 0,3 berücksichtigt (Hochsicke). In der Tiefsicke wurde ein Lastfaktor von k = 0,4 erreicht.

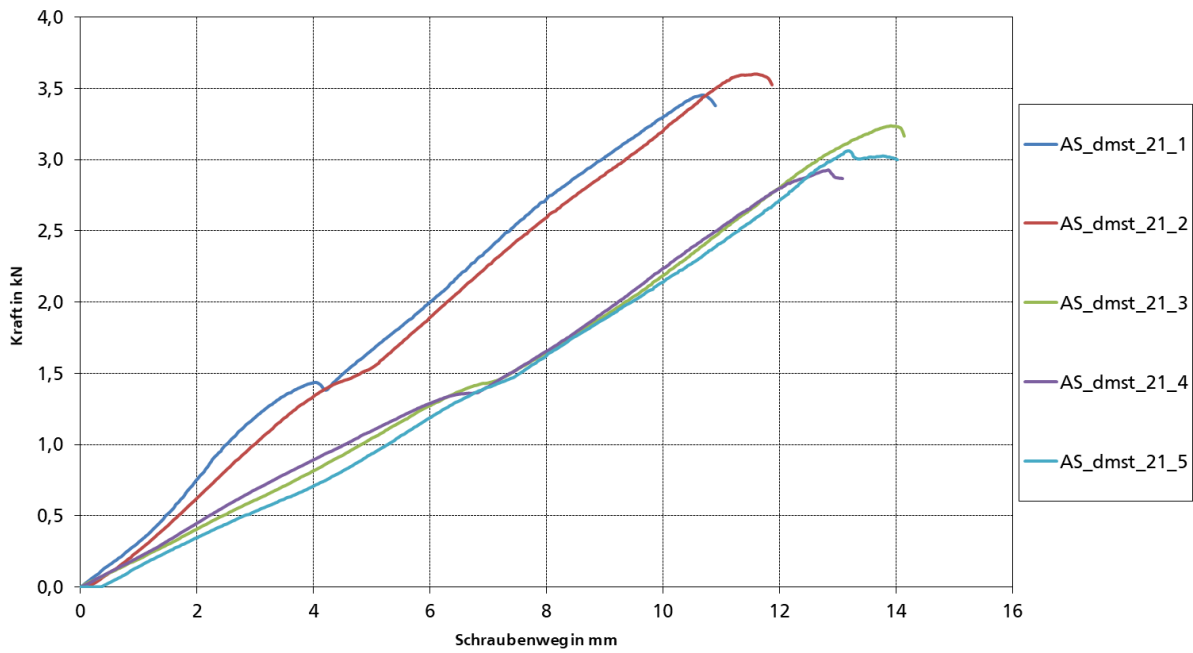


Bild 7.132: statische Auszugversuche

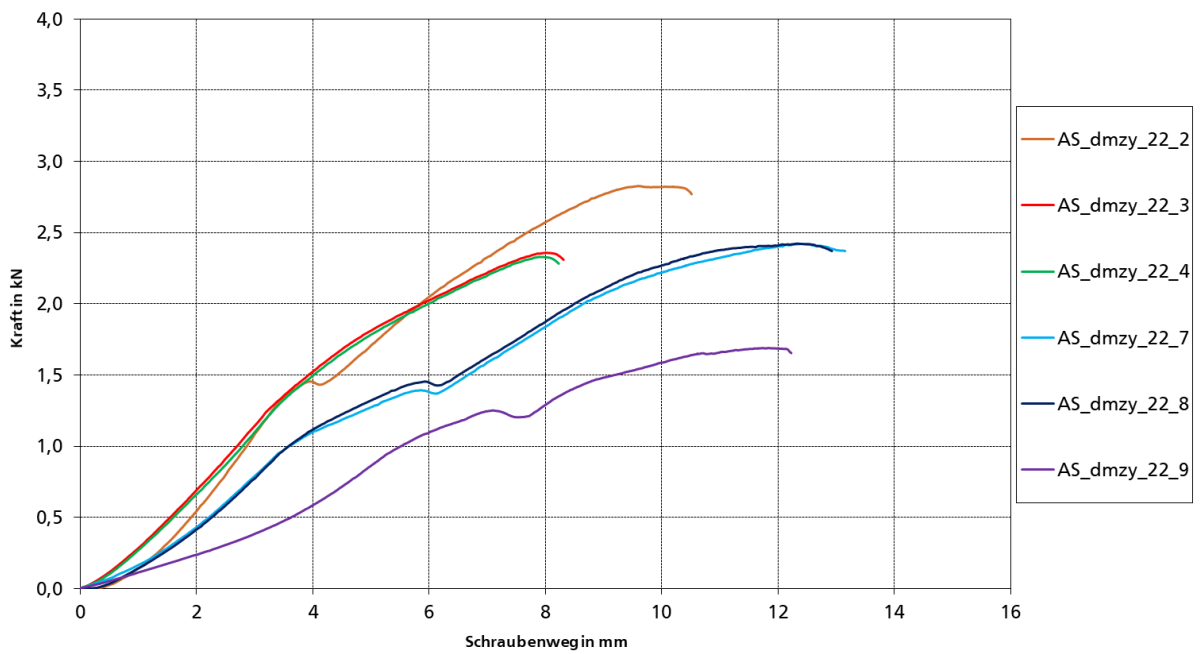


Bild 7.133: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

7.9.2 Endauflager

Die Versuche wurden mit einem Randabstand von 20 mm durchgeführt. In den statischen Versuchen erfolgte das Versagen durch Durchknöpfen und Durchreißen des Deckblechs zum Elementrand. In den zugehörigen zyklischen Versuchen traten häufig Risse an den benachbarten Sickenstegen oder zwischen Bohrung und Elementrand auf, welche zum vorzeitigen Versagen führten oder sich im anschließenden Auszugversuch weiter öffneten. Die zyklischen Versuche wurden in der Hochsicke und in der Tiefsicke durchgeführt. Der minimal erreichte Lastfaktor betrug $k = 0,25$ in der Tiefsicke und $k = 0,4$ in der Hochsicke.

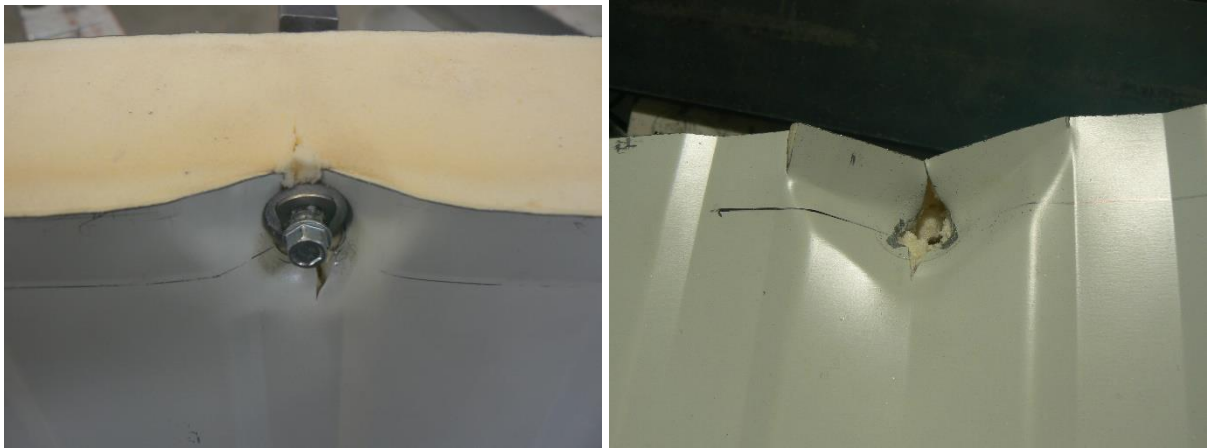


Bild 7.134: Versagensbild im statischen Versuch (links), Versagensbild mit Rissbildung an den Stegen während zyklischer Belastung (rechts)

AS 2:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (mit Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	W_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AS_dest_11_1	23,67	2,98	2,98	0,47	0,46	Tiefsicke
AS_dest_11_2	24,08	2,73	2,73			
AS_dest_11_3	19,99	2,66	2,66			
AS_dest_11_4	21,73	2,77	2,77			Hochsicke
AS_dest_11_5	24,09	2,98	2,98			
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	2,82	2,82			
Standardabw.:	$s =$	0,05	0,05			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,49	2,49			

Belastung	zykl., n = 5000, 2,5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	W _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	Bemerkung
AS_dezy_12_1	0,5	1,41	0,14	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 2800 LW
AS_dezy_12_2	0,4	1,13	0,11	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 2200 LW
AS_dezy_12_3	0,3	0,85	0,08	13,62	1,94	1,94	Tiefsicke
AS_dezy_12_4				10,46	0,81	0,81	Tiefsicke, Grenzwert unterschritten
AS_dezy_12_5	0,25	0,71	0,07	18,63	2,28	2,28	Tiefsicke
AS_dezy_12_6				12,59	1,69	1,69	
AS_dezy_12_7	0,5	1,41	0,14	12,87	2,25	2,25	Hochsicke
AS_dezy_12_8				12,22	2,01	2,01	
AS_dezy_12_9				-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen 3900 LW
AS_dezy_12_10				13,06	2,10	2,10	Hochsicke
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	1,97	1,97		
Standardabweichung:			s =	0,15	0,15		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	1,22	1,22		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	0,92		(für k = 0,25)	

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor $k = 0,25$ berücksichtigt (Tiefsicke, Versuche 3, 5, 6). In der Hochsicke wurde ein Lastfaktor von $k = 0,5$ erreicht.

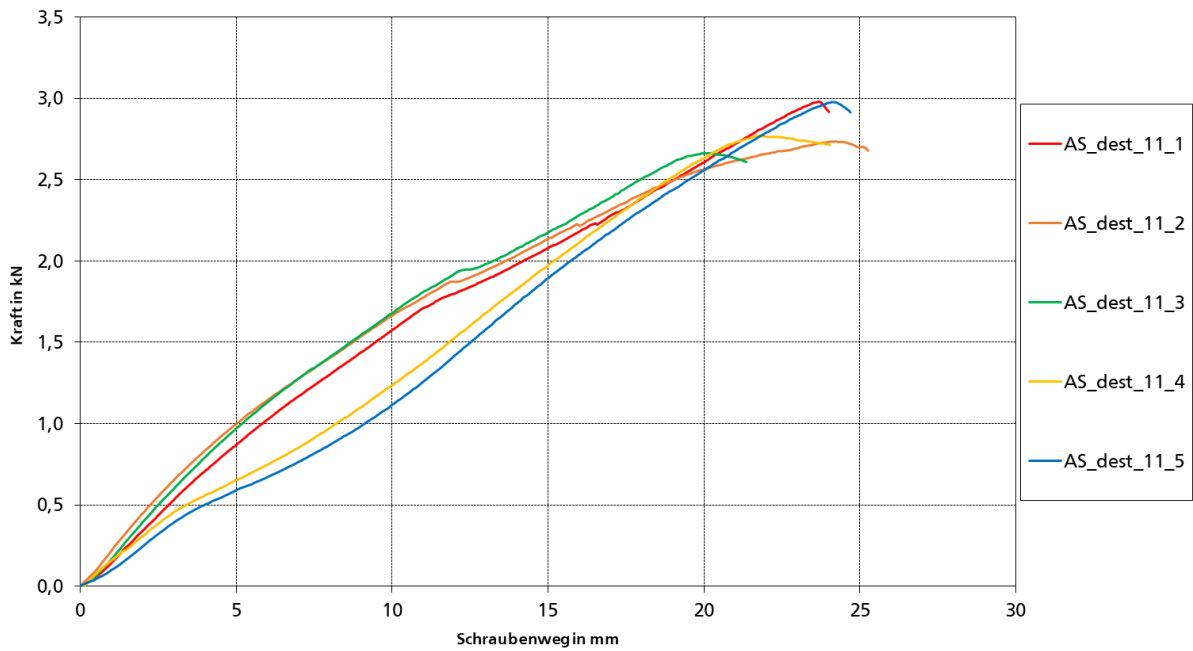


Bild 7.135: statische Auszugversuche

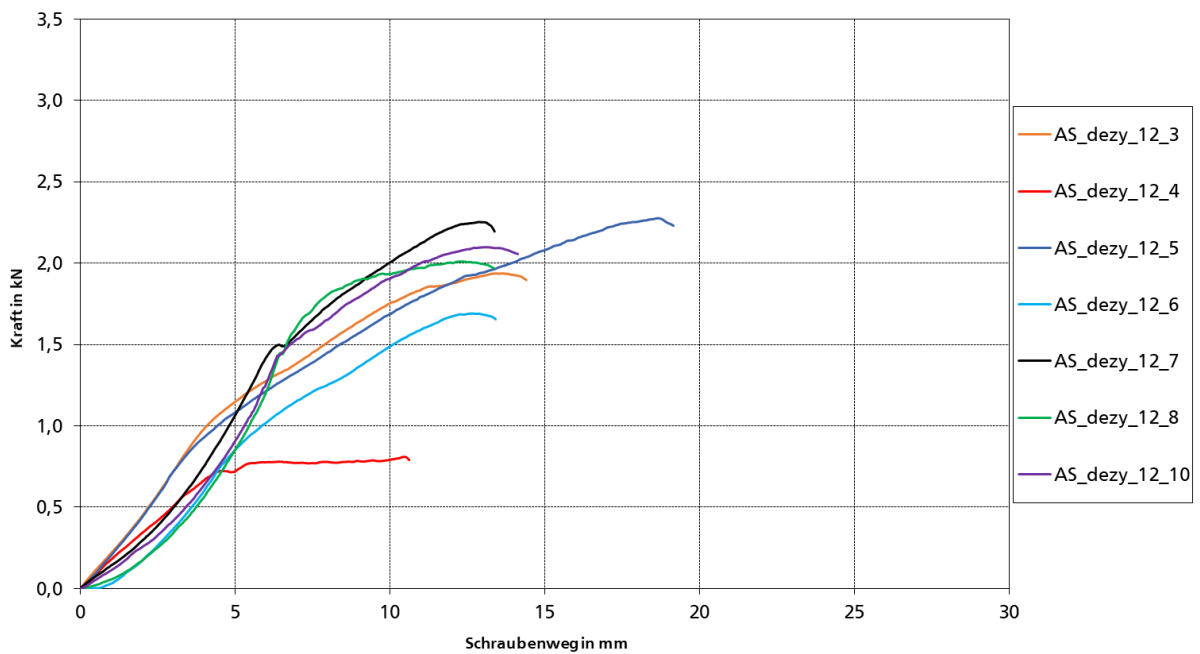


Bild 7.136: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

AS 4:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 80 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	W_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AS_dest_15_1	25,62	2,92	2,92	0,47	0,46	Hochsicke
AS_dest_15_2	21,13	2,88	2,88			Tiefsicke
AS_dest_15_3	23,95	2,82	2,82			
AS_dest_15_4	26,16	2,99	2,99			
AS_dest_15_5	26,82	3,14	3,14			Hochsicke
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	2,95	2,95			
Standardabw.:	$s =$	0,04	0,04			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,67	2,67			

Belastung	zykl., n = 5000, 2,5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	w _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	Bemerkung
AS_dezy_16_1	0,5	1,48	0,15	13,80	2,27	2,27	Tiefsicke
AS_dezy_16_2				11,52	1,83	1,83	Tiefsicke, Grenzwert unterschritten
AS_dezy_16_3	0,4	1,18	0,12	17,45	2,45	2,45	Tiefsicke
AS_dezy_16_4				-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 3900 LW
AS_dezy_16_5				-	-	-	
AS_dezy_16_6	0,5	1,48	0,15	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen 4600 LW
AS_dezy_16_7	0,4	1,18	0,12	17,39	2,77	2,77	Hochsicke
AS_dezy_16_8	0,3	0,89	0,09	10,13	1,42	1,42	Tiefsicke
AS_dezy_16_9				12,55	1,82	1,82	
AS_dezy_16_10				8,66	1,27	1,27	
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	1,50	1,50		
Standardabweichung:			s =	0,19	0,19		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	0,83	0,83		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	1,15			(für k = 0,3)

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor k = 0,3 berücksichtigt (Tiefsicke). In der Hochsicke wurde ein Lastfaktor von k = 0,4 erreicht.

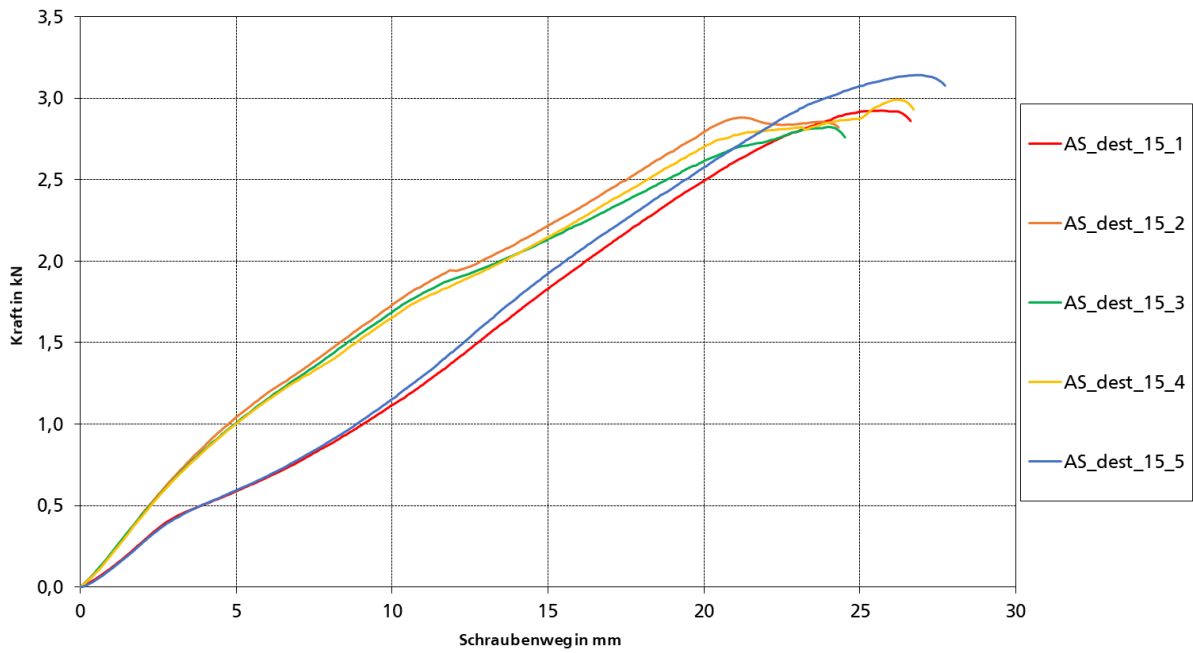


Bild 7.137: statische Auszugversuche

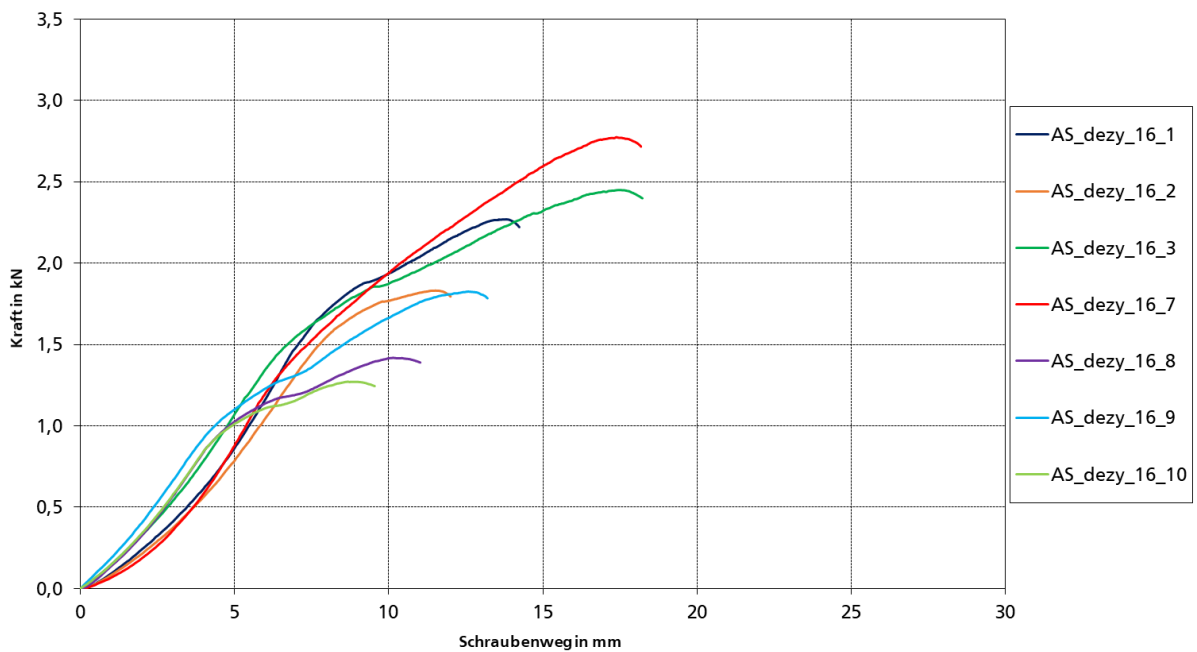


Bild 7.138: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

AS 6:

Parameter	
Sandwich:	ARCELOR MITTAL (PUR, Elementhöhe = 140 mm, $t_{Na} = 0,5$ mm, $t_{Ni} = 0,5$ mm)
Schraube:	SFS (ohne Stützgewinde, Unterlegscheibe $\varnothing 16$ mm)
Versuchslage:	Endauflager ($e = 20$ mm), Schraubenkopf am inneren Deckblech

Belastung	statisch			Blechdicke		Bemerkung
	W_{max} in mm	F_{obs} in kN	F_{adj} in kN	$t_{a,obs}$ in mm	$t_{i,obs}$ in mm	
AS_dest_23_1	21,19	2,99	2,99	0,46	0,46	Tiefsicke
AS_dest_23_2	25,03	2,97	2,97			
AS_dest_23_3	25,05	3,27	3,27			
AS_dest_23_4	26,29	3,22	3,22			
AS_dest_23_5	23,17	2,75	2,75			Hochsicke
Mittelwert:	$F_{Rt,stat} =$	3,04	3,04			
Standardabw.:	$s =$	0,07	0,07			
5 %-Fraktilw.:	$F_{Rtk} =$	2,56	2,56			

Belastung	zykl., n = 5000, 2,5 Hz			statisch (Resttragfähigkeit)			Bemerkung
Versuch	k	F _o in kN	F _u in kN	W _{max} in mm	F _{obs} in kN	F _{adj} in kN	
AS_dezy_24_1	0,5	1,52	0,15	-	-	-	Hochsicke, Durchknöpfen 3500 LW
AS_dezy_24_2	0,4	1,22	0,12	15,66	2,51	2,51	Hochsicke, Risse am Sickensteg nach zykl. Belastung
AS_dezy_24_3				12,45	2,01	2,01	
AS_dezy_24_4	0,5	1,52	0,15	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 2400 LW
AS_dezy_24_5	0,4	1,22	0,12	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 3700 LW
AS_dezy_24_6	0,3	0,91	0,09	-	-	-	Tiefsicke, Durchknöpfen 4500 LW
AS_dezy_24_7	0,25	0,76	0,08	13,10	1,98	1,98	Tiefsicke
AS_dezy_24_8				9,87	1,53	1,53	
AS_dezy_24_9				12,81	2,04	2,04	
Mittelwert:			F _{Rt,dyn} =	1,85	1,85		
Standardabweichung:			s =	0,16	0,16		
5 %-Fraktilwert:			F _{Rtk,dyn} =	1,11	1,11		
Grenzwert Resttragfähigkeit:			1,3·k·F _{Rt,stat} =	0,99		(für k = 0,25)	

In der statistischen Auswertung wurden nur die Versuche mit dem minimalen Lastfaktor k = 0,25 berücksichtigt (Tiefsicke). In der Hochsicke wurde ein Lastfaktor von k = 0,4 erreicht.

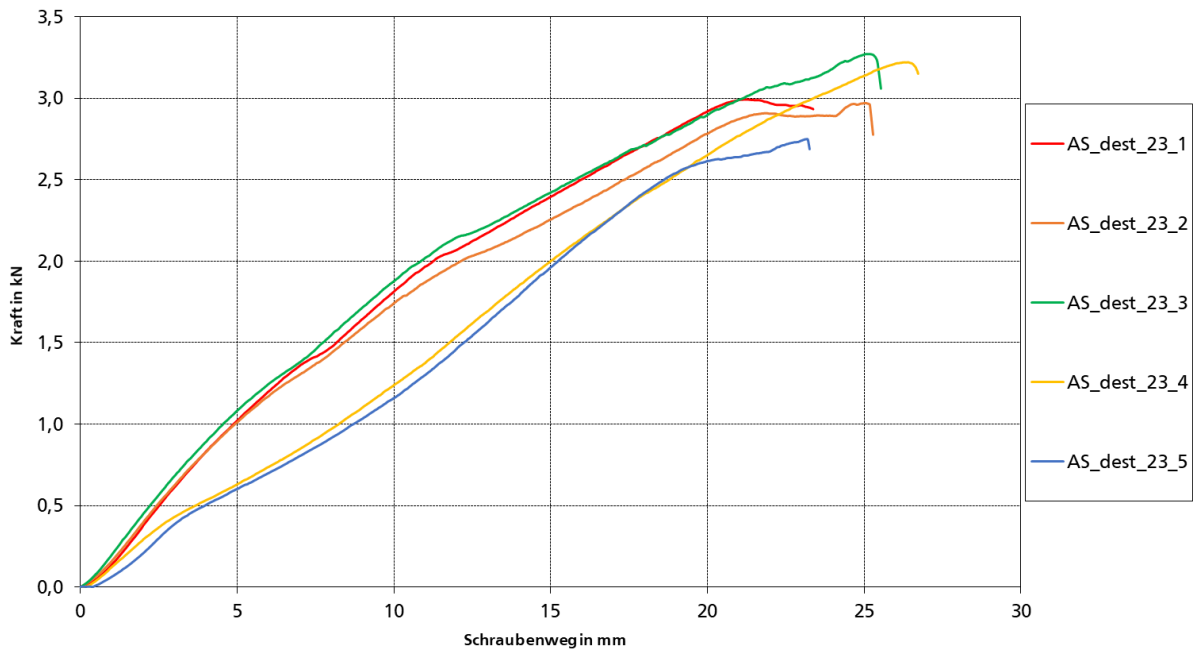


Bild 7.139: statische Auszugversuche

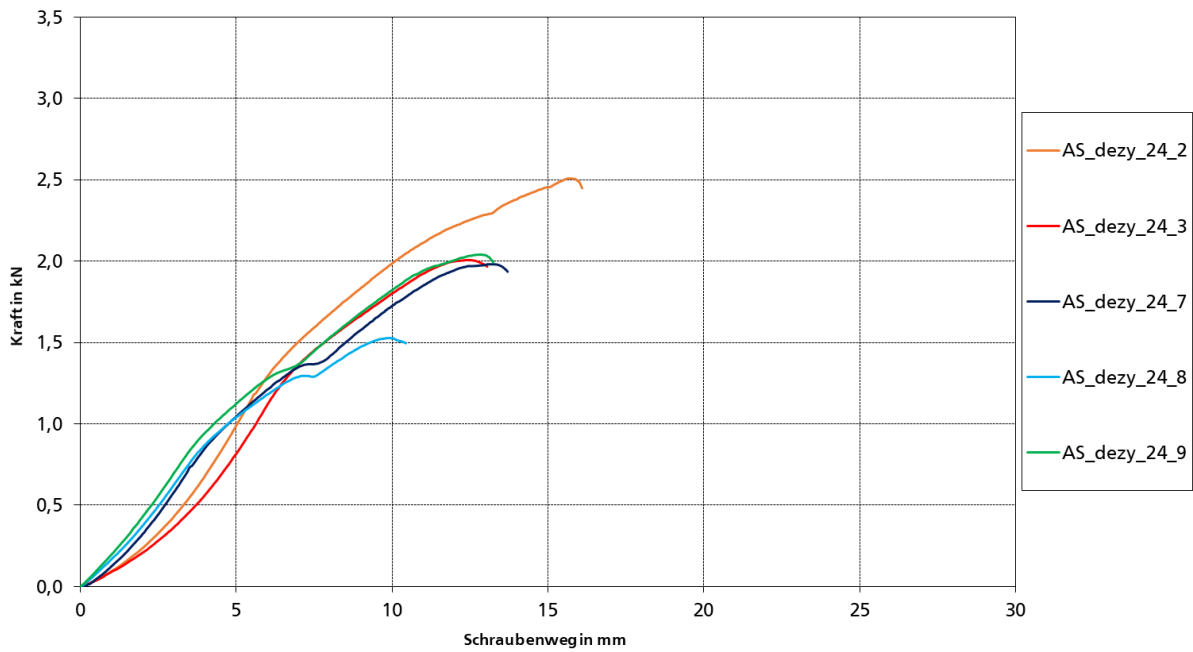


Bild 7.140: Auszugversuche nach zyklischer Beanspruchung

8 Auswertung

Es folgt die Auswertung und Aufbereitung der Versuchsergebnisse getrennt nach statischen und zyklischen Versuchen. Die Bezeichnung PUR wird im Folgenden auch für PIR-Schaum verwendet.

8.1 Statische Versuche

Die Ergebnisse wurden mit Hilfe des Faktors k_1 nach Gl. 3.5 auf die Nennblechdicke gemäß Herstellerangaben sowie auf eine einheitliche Nennzugfestigkeit ($420 \text{ N/mm}^2 \triangleq \text{S350}$) skaliert, um einen direkten Vergleich untereinander zu ermöglichen. Abweichend zu Gl. 3.5 wurde auf die Begrenzung von $k_1 < 1,0$ verzichtet.

Zunächst wurde untersucht, ob die Durchknöpftragfähigkeit durch ein Stützgewinde am Schraubenkopf beeinflusst wird. Wie in Bild 8.1 zu sehen ist, ergaben die Versuche ohne Stützgewinde tendenziell eine etwas größere mittlere Tragfähigkeit. Insgesamt spielt es nur eine untergeordnete Rolle, zumal das Deckblech bei planmäßigem Schraubeneinbau nicht direkt im Stützgewinde liegt.

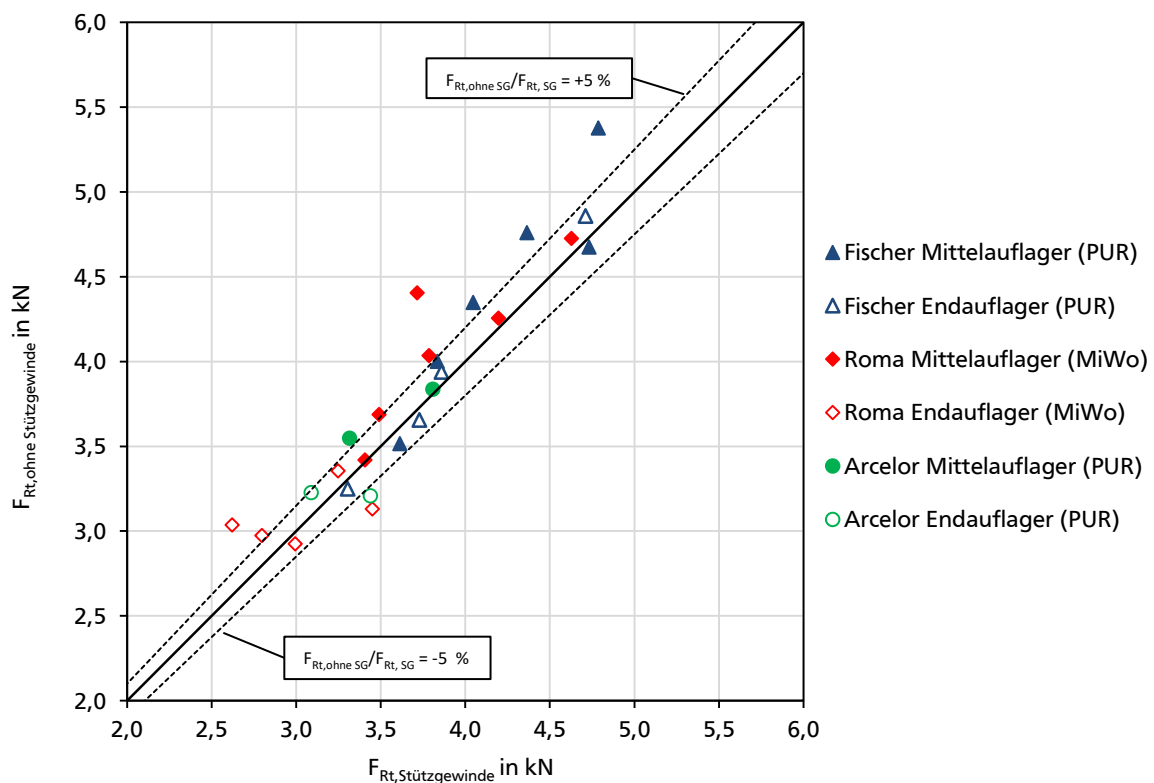


Bild 8.1: Mittlere statische Durchknöpftragfähigkeit je Versuchsreihe mit und ohne Stützgewinde an den Schrauben

Ein Vergleich der Ergebnisse zwischen Mittel- und Endaufleger (siehe Bild 8.2) zeigt, dass die Elemente aus PUR-Schaum (Fa. Fischer) bereits bei einem Randabstand von 40 mm die Tragfähigkeit der Mittelauflegerversuche erreichten. Bei minimalem Randabstand von 20 mm war

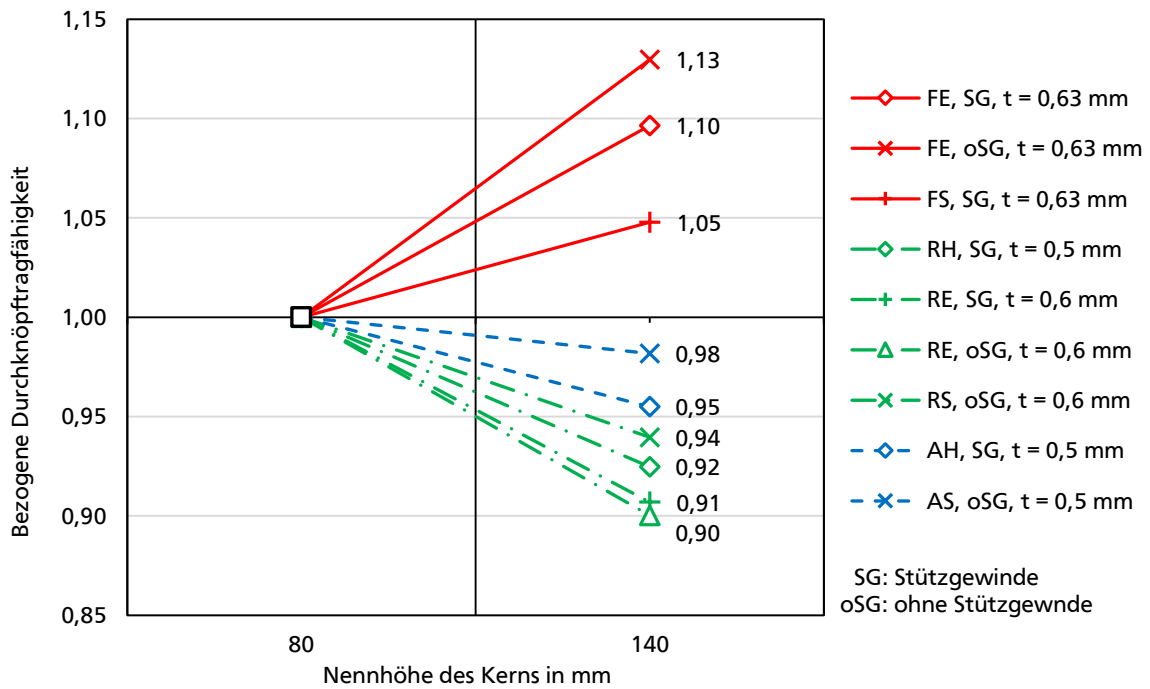


Bild 8.3: Bezogene statische Durchknöpfrtragfähigkeit am Mittelaflager in Abhängigkeit von der Kernhöhe

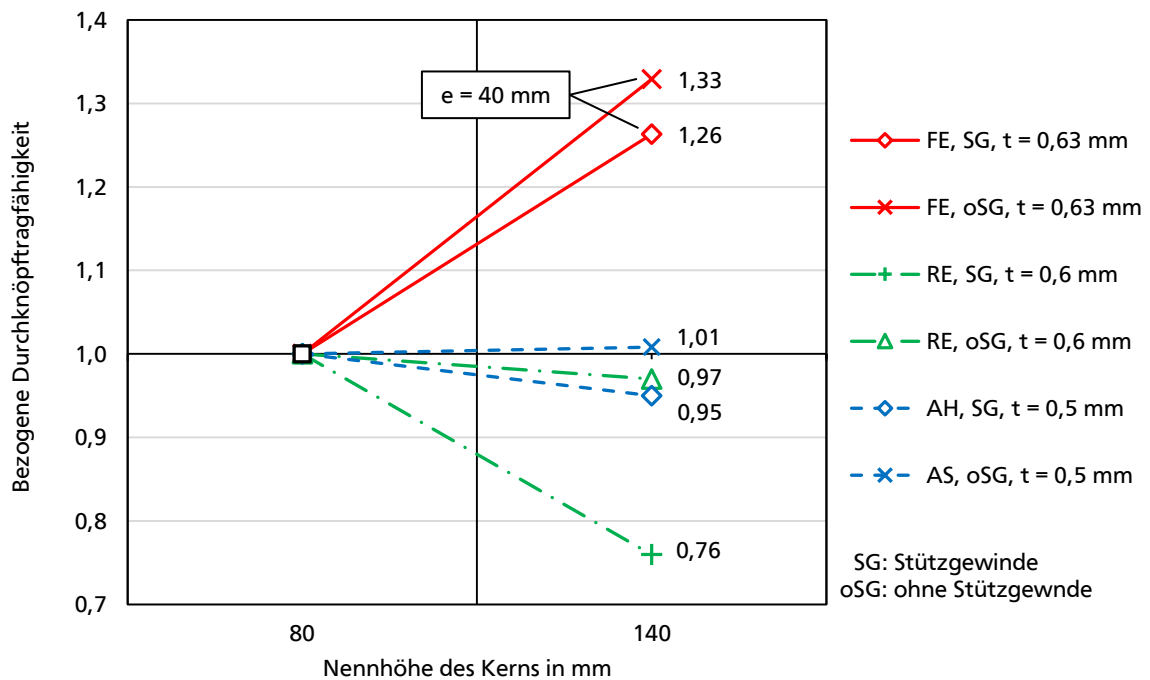


Bild 8.4: Bezogene statische Durchknöpfrtragfähigkeit am Endauflager (e = 20 mm) in Abhängigkeit von der Kernhöhe

Bei den Mineralwolle-Elementen wurde ein Abfall der Durchknöpfragfähigkeit mit steigender Kernhöhe von bis zu 10 % am Mittelaufleger und bis zu 25 % am Endaufleger festgestellt. Die geringere Tragfähigkeit ließe sich durch ein früheres Ausknicken der Fasern aufgrund des größeren Deckblechabstandes erklären, was am Elementrand durch die reduzierte Stützung der umliegenden Mineralwolle noch begünstigt würde. Allerdings zeigten die beiden betrachteten Versuchsreihen am Endaufleger sehr unterschiedliche Ergebnisse (Abminderung 0,76 und 0,97, Bild 8.4).

Die Lage des Schraubenkopfes in einer Hochsicke oder einer Tiefsicke der Deckblechlinierung hatte einen vernachlässigbar kleinen Einfluss auf die Ergebnisse unter statischer Belastung.

8.2 Zyklische Versuche

Die Ergebnisse der zyklischen Versuche werden nachfolgend hinsichtlich des minimal erreichten zyklischen Abminderungsfaktors α_{zykl} (= 2k gem. Kap. 3.3, Gl. 3.6) je Parameterkombination ausgewertet und aufbereitet.

8.2.1 Elemente mit Kern aus PUR/PIR-Schaum

Bei den Versuchen mit Kern aus PUR-Schaum (Fischer und ArcelorMittal) traten während der zyklischen Belastung häufig Ermüdungsrisse im Deckblech auf. Je nach Ausprägung der Risse folgte ein vorzeitiges Durchknöpfen während des Schwingvorgangs oder eine Nichteinhaltung des geforderten Grenzwertes im anschließenden Auszugversuch. Durch eine Reduktion der Oberlast konnte die (sichtbare) Rissbildung verringert oder verhindert werden, was mit einer Reduktion des Faktors α_{zykl} einherging. Die Ermüdungsrisse traten am Mittelaufleger zumeist am Übergang zwischen Hoch- und Tiefsicke (s. Bild 8.5) auf, am Endaufleger teilweise auch zwischen Elementrand und Schraube. Der Ort der Risse deutet darauf hin, dass eine Vorschädigung des Materials durch die Kaltverformung beim Einbringen der Linierung vorliegen könnte, welche bei zyklischer Belastung zu einem vorzeitigen Versagen führte.



Bild 8.5: Versagen am Mittel- und Endaufleger nach dem Auszugversuch

Während der Versuchsdurchführung wurde eine deutliche Abhängigkeit des Abminderungsfaktors von der Schraubenlage – entweder in einer Hochsicke oder einer Tiefsicke der Deckblechlinierung – festgestellt. Bild 8.6 und Bild 8.7 stellen den Abminderungsfaktor α_{zykl} getrennt nach Hoch- und Tiefsicke für beide Hersteller dar.

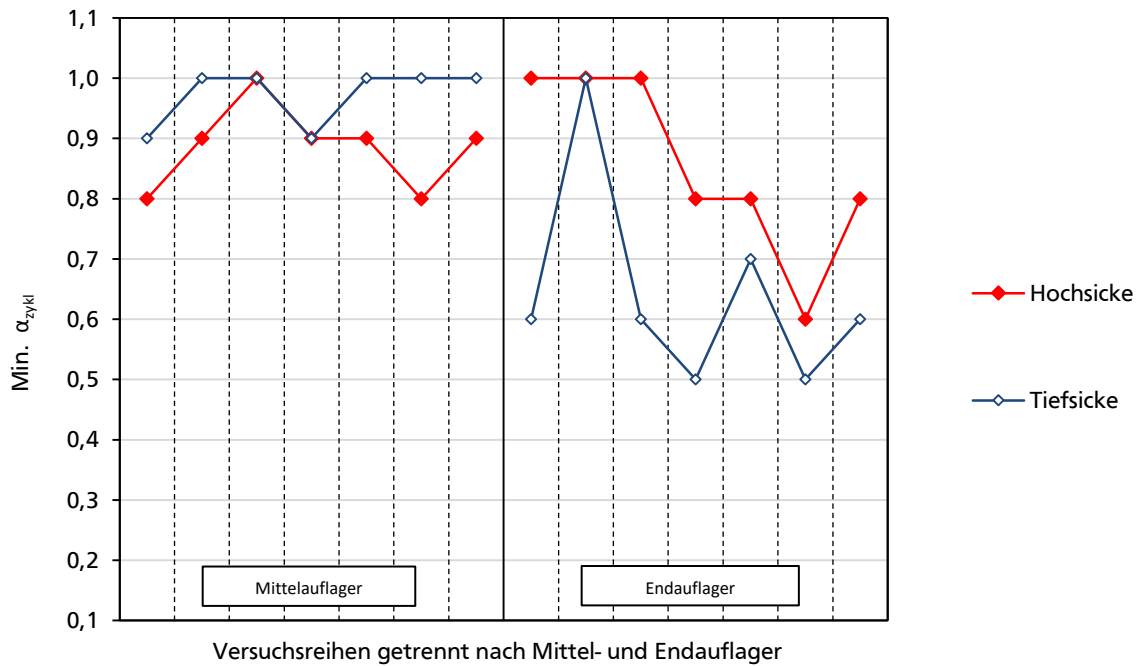


Bild 8.6: Minimaler zyklischer Abminderungsfaktor je Versuchsreihe getrennt nach Hoch- und Tiefsicke, PUR-Schaum (Fa. Fischer)

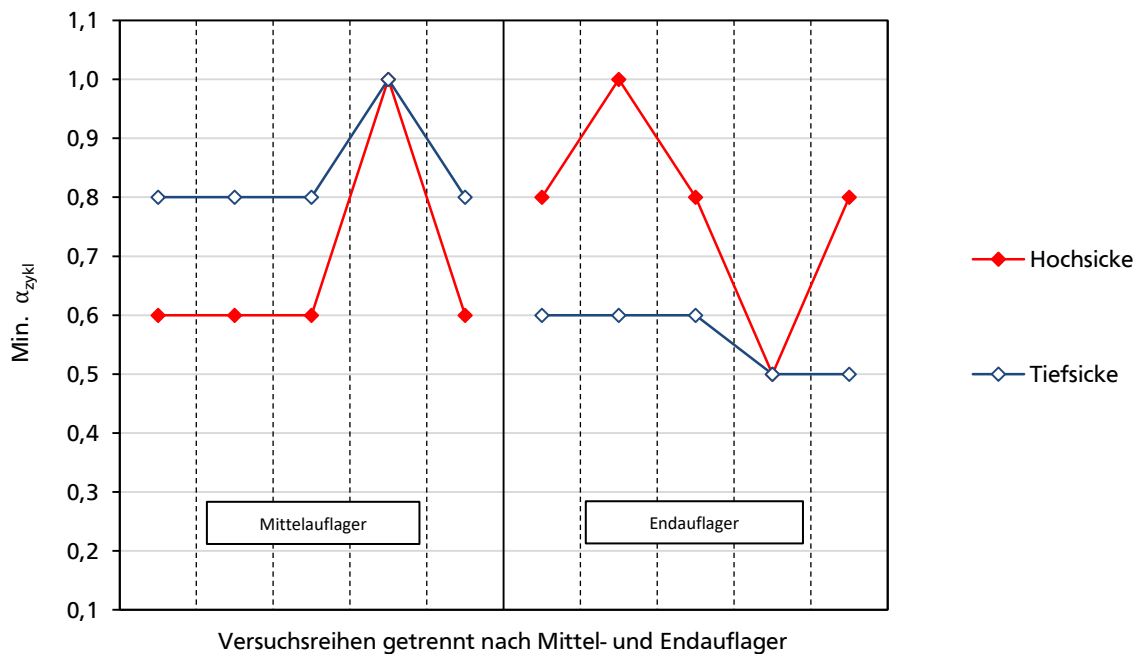


Bild 8.7: Minimaler zyklischer Abminderungsfaktor je Versuchsreihe getrennt nach Hoch- und Tiefsicke, PUR-Schaum (Fa. ArcelorMittal)

Es sind nur diejenigen Ergebnisse aufgeführt, in denen Versuche für beide Linierungspositionen durchgeführt wurden. Wie aus den Bildern ersichtlich ist, waren die zyklischen Tragfähigkeiten in den Mittelaugerversuchen in der Regel kleiner, sofern die Schraube in einer Hochsicke befestigt wurde. Bei den Endauflagerversuchen war die Tragfähigkeit in der Tiefsicke geringer, der Unterschied zwischen Hoch- und Tiefsicke fiel zudem größer aus.

Eine Auswertung der Deckblechverformungen während der zyklischen Belastung ergab, dass die plastischen Verformungen bei den Mittelaugerversuchen über die 5000 Lastwechsel in der Hochsicke stärker zunahm als in der Tiefsicke, was auf eine verstärkte Schädigung bzw. Rissbildung hindeutet. Bei den Endauflagerversuchen verhielt es sich gegenteilig. Bild 8.8 zeigt die exemplarische Auswertung der zyklischen Belastung für einen Mittelaugerversuch in der Hoch- und Tiefsicke mit identischer Oberlast. Näherungsweise wurde nur der Zylinderweg betrachtet. Neben der deutlichen Zunahme der plastischen Verformung in der Hochsickenlage war außerdem ersichtlich, dass die Initialsteifigkeit in der Tiefsicke geringfügig höher war. Die Ursache für das unterschiedliche Verhalten kann ohne weitere Untersuchungen der Deckblechspannungen nicht angegeben werden.

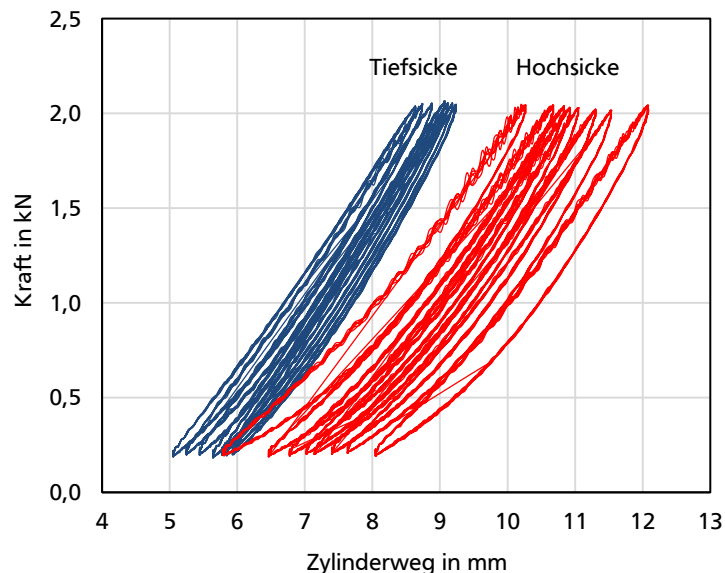


Bild 8.8: Verformungen während der zyklischen Belastung am Mittelaugerversuch (Versuchsreihe FE9)

Die Durchknöpfversuche am Mittelaugerversuch mit Elementen von Fischer (s. Bild 8.9) ergaben zyklische Abminderungsfaktoren von $\alpha_{\text{zykl}} = 0,7 - 1,0$, zum Großteil sogar $\geq 0,9$. Lediglich in zwei Versuchsreihen (ca. 10 %) war $\alpha_{\text{zykl}} = 0,7$. Die Abminderung beträgt im Mittel über alle Versuchsreihen 0,89.

Die Mittelaugerversuche mit Elementen von ArcelorMittal (s. Bild 8.11) ergaben eine Bandbreite von $\alpha_{\text{zykl}} = 0,6 - 1,0$. In ca. 67 % der Versuchsreihen war der Faktor $\geq 0,8$. Die Versuche wurden allerdings an der Produktionsoberseite der Elemente durchgeführt, welche erfahrungsgemäß eine geringere Schaumqualität im Nahbereich des Deckblechs aufweist und zudem mit Lunkern durchsetzt war. Die verringerte Bettung des Deckblechs während der zyklischen Belastung kann eine Ursache für die größere Reduktion der Tragfähigkeit gegenüber den Elementen von Fischer sein, bei denen die Versuche an der Produktionsunterseite durchgeführt wurden. Die mittlere Abminderung beträgt 0,77.

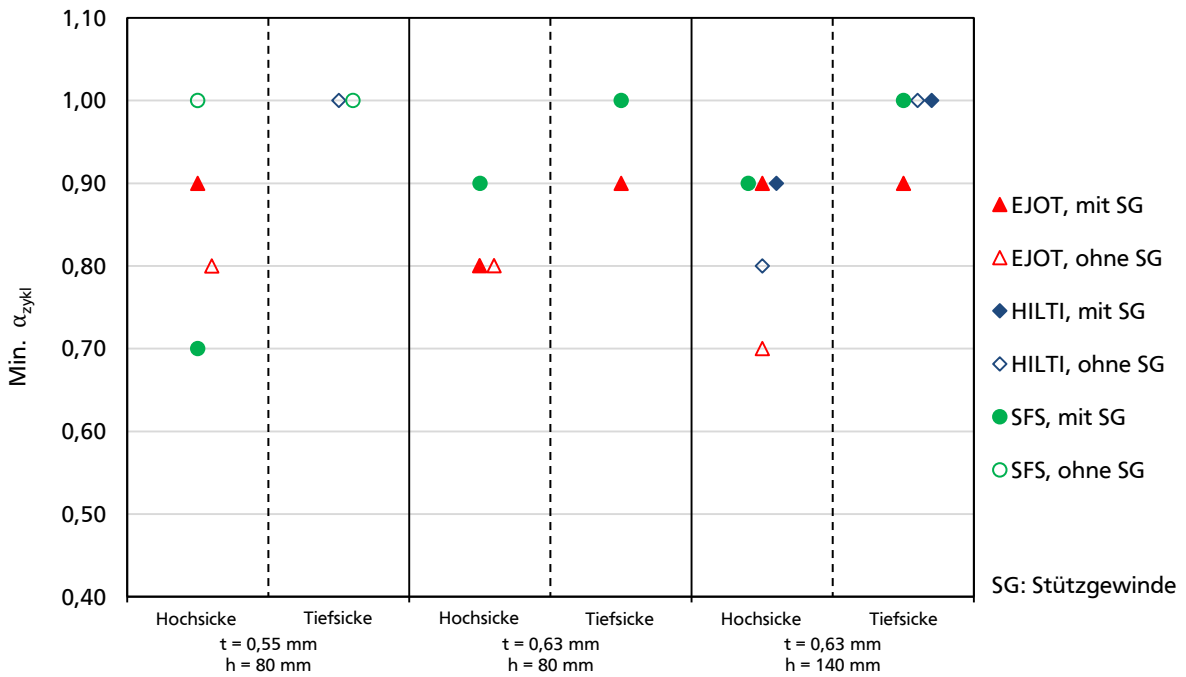


Bild 8.9: Minimaler zyklischer Abminderungsfaktor, PUR-Schaum (Fa. Fischer), Mittelaufleger

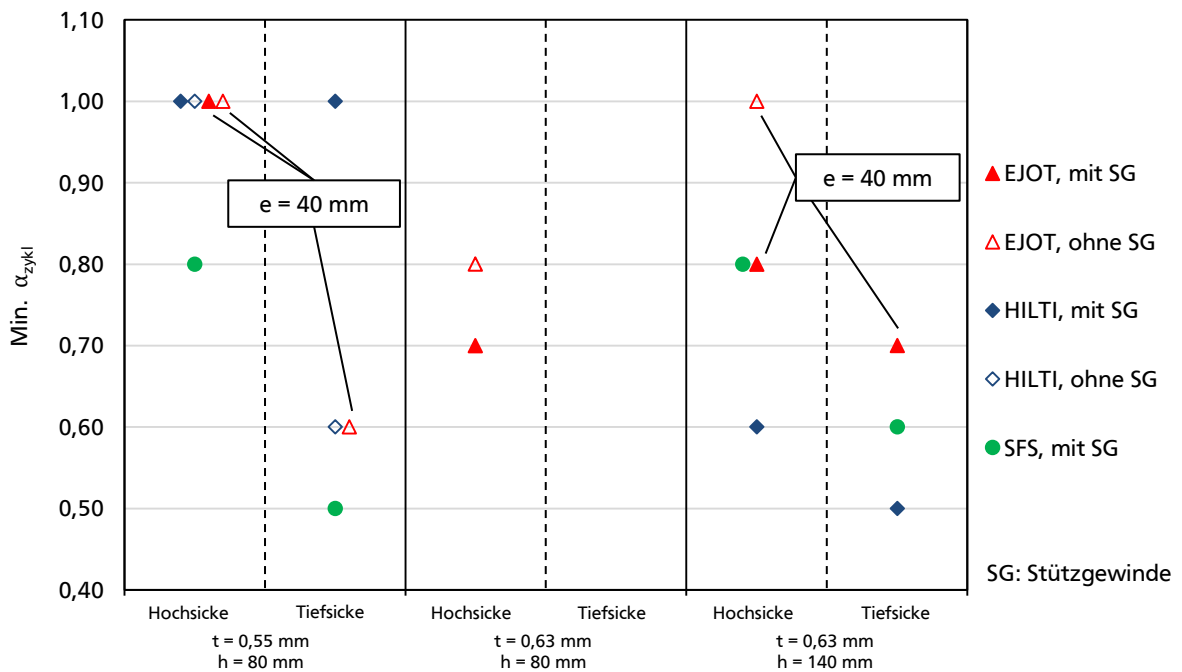


Bild 8.10: Minimaler zyklischer Abminderungsfaktor, PUR-Schaum (Fa. Fischer), Endaufleger (e = 20 mm, sofern nicht anders angegeben)

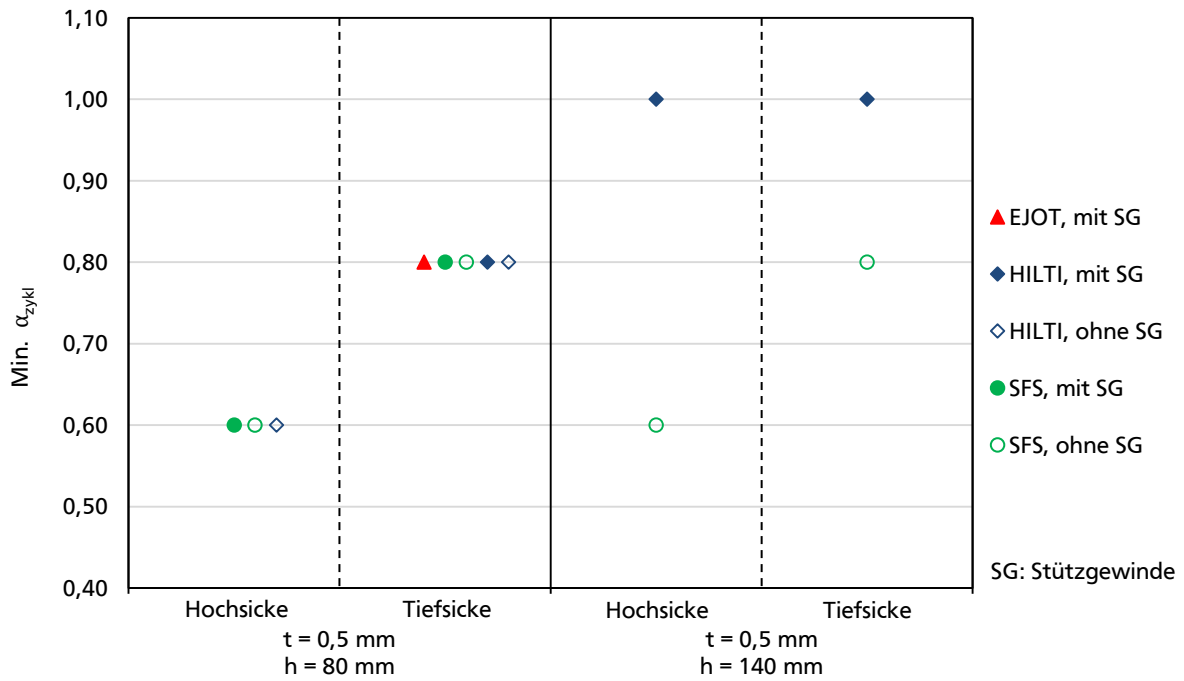


Bild 8.11: Minimaler zyklischer Abminderungsfaktor, PUR-Schaum (Fa. ArcelorMittal), Mittelaufleger, Schraubenkopf an der Produktionsoberseite

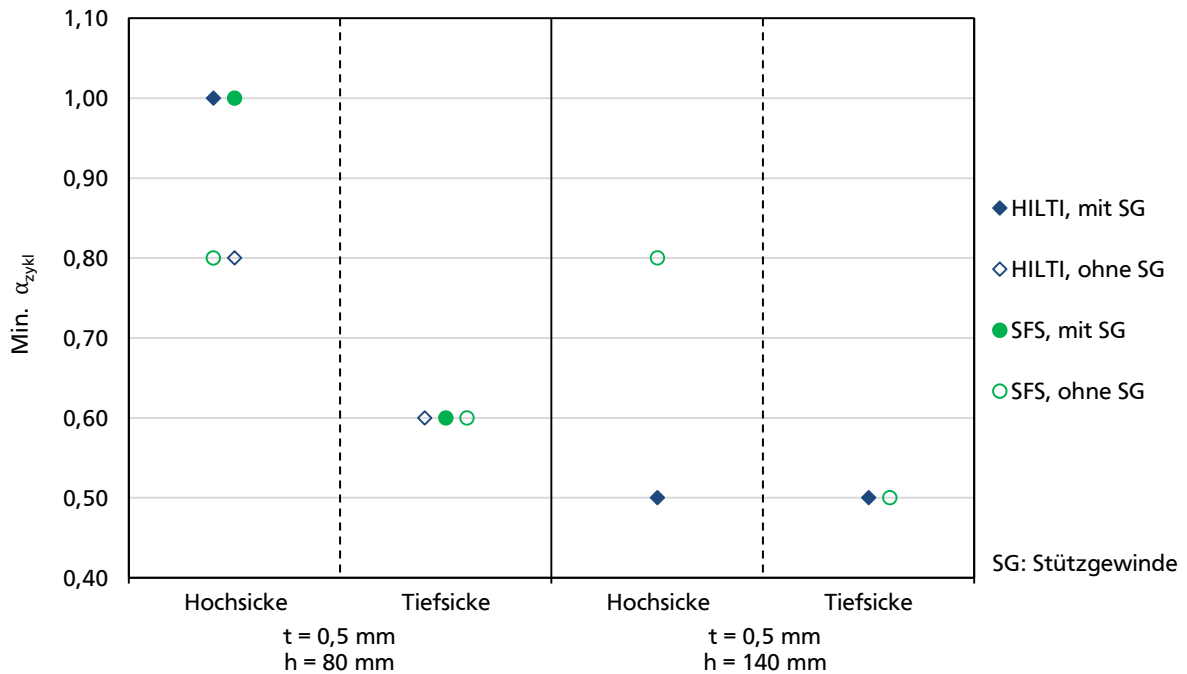


Bild 8.12: Minimaler zyklischer Abminderungsfaktor, PUR-Schaum (Fa. ArcelorMittal), Endaufleger (e = 20 mm), Schraubenkopf an der Produktionsoberseite

Die zyklischen Versuche am Endauflager mit Elementen von Fischer (s. Bild 8.10) ergaben bei einem Randabstand von $e = 20$ mm Abminderungsfaktoren von $\alpha_{\text{zykl}} = 0,5 - 1,0$. Der Mittelwert beträgt 0,74. Bei einem Großteil der Versuchsreihen war der Faktor $\geq 0,6$. Mit größerem Randabstand von $e = 40$ mm ergaben sich Faktoren von 0,6 – 1,0, wobei das Minimum von 0,6 nur in einer einzelnen Versuchsreihe auftrat. Der Mittelwert beträgt 0,85.

Die Endauflagerversuche mit Elementen von ArcelorMittal wurden mit einem Randabstand von $e = 20$ mm durchgeführt. Es ergaben sich Abminderungsfaktoren von $\alpha_{\text{zykl}} = 0,5 - 1,0$ und ein Mittelwert von 0,7 (s. Bild 8.12).

Eine leichte Vergrößerung der Durchknöpffragfähigkeit bei Verwendung von Schrauben ohne Stützgewinde – entsprechend den statischen Versuchen – konnte nicht festgestellt werden. Am Mittelaufleger (s. Bild 8.9, Fischer) verhielten sich die Schrauben mit Stützgewinde in manchen Versuchsreihen etwas günstiger, am Endauflager (Bild 8.10) variierten die Ergebnisse je nach verwendetem Schraubenhersteller. In vielen Versuchsreihen waren jedoch keine Unterschiede feststellbar.

Bezüglich der Blechdicke war ebenfalls keine klare Differenz zwischen den Versuchen mit dünneren (0,5 bzw. 0,55 mm) und dickeren Deckblechen (0,6 bzw. 0,63 mm) zu erkennen, da mit höherer Deckblechdicke auch der Ausgangswert für die Oberlast angehoben wurde.

Gleiches gilt für den Einfluss der Kerndicke. Zwischen den Elementen mit $h = 80$ mm und $h = 140$ mm traten keine nennenswerten Abweichungen der zyklischen Tragfähigkeit auf. Die geringen Unterschiede bei den Parametern „Stützgewinde“ und „Kernhöhe“ lassen sich womöglich auf die Versuchsdurchführung zurückführen. Die Oberlast wurde aufgrund der begrenzten Zahl an Prüfkörpern in relativ großen Schritten¹ reduziert, sodass die Auswirkung einzelner Parameter unter Umständen gar nicht erfasst werden konnte.

In den Versuchen an PU-Elementen des Herstellers ArcelorMittal (Bild 8.11 und Bild 8.12) sind die Unterschiede zwischen den Schraubenherstellern und Schraubentypen insgesamt geringer als bei den Elementen von Fischer.

Zusammengefasst können für PUR-Elemente die in der folgenden Tabelle genannten unteren Grenzwerte für α_{zykl} angegeben werden. Die Ergebnisse aus den Elementen des Herstellers ArcelorMittal liegen etwas unterhalb dieser Werte, werden allerdings aufgrund der Versuchslage (Produktionsoberseite) ausgeklammert.

Tab. 8.1: Untere Grenzwerte α_{zykl} für Sandwichelemente aus PUR-Schaum

Lage	α_{zykl}
Mittelaufleger	0,8
Randabstand $e = 20$ mm	0,6
Randabstand $e = 40$ mm	0,7

¹ Der Lastfaktor k wurde in Schritten von 0,05 (10 %) bzw. 0,1 (20%) gesenkt.

Misiek zeigte in [6], dass die statische Durchknöpfragfähigkeit an der Bügelprobe, bei Unterlegscheiben bis $\varnothing 20$ mm, größer ist als die an Sandwichelementen ermittelte Tragfähigkeit. Für PUR-Elemente ergab sich am Mittelaufleger

$$F_{Rt,SW} = 0,8 F_{Rt,Bü}. \quad (8.1)$$

Unter Berücksichtigung der Abminderungsfaktoren $\alpha_{zykl} = 0,67$ für die Bügelprobe und $\alpha_{zykl} = 0,8$ für Sandwichelemente (nach Tab. 8.1) ist die bisherige Zulassungspraxis noch abgedeckt. Bei den Endauflagerversuchen traten größere zyklische und statische Abminderungen gegenüber dem Mittelaufleger auf, sodass die Durchknöpfragfähigkeit durch die Verwendung der Bügelprobe überschätzt würde. Der Bezug zur bisherigen Zulassungspraxis erfolgt unter Vorbehalt, da im Rahmen des Projektes keine Versuche an Bügelproben durchgeführt wurden.

8.2.2 Elemente mit Kern aus Mineralwolle

Bei den Mittelauflegerversuchen mit Kern aus Mineralwolle (Fa. Romakowski) traten während der zyklischen Belastung vereinzelt Risse an den umliegenden Übergängen von Hoch- und Tiefsicke auf. Bei einem Großteil der Versuche waren keine sichtbaren Schäden im Deckblech zu erkennen. Die Ausbildung von Knitterfalten, die bei den Auszugversuchen beobachtet wurde, trat in der Regel nicht während der zyklischen Belastung auf. Bei den Endauflagerversuchen kam es häufiger zur Rissbildung im Deckblech, sowohl an den Übergängen der Linierung als auch radial zum Schraubenloch, sodass die Oberlast abgemindert wurde. Knitterfalten traten teilweise auch während der zyklischen Belastung auf.

Die Mineralwolle wurde durch die zyklische Belastung stark geschädigt. Die Kernbereiche nahe der Schraube hatten anschließend eine sehr weiche, watteartige Konsistenz und demzufolge eine geringe Reststeifigkeit. Wie an den Auszugversuchen (Kap. 7) ersichtlich ist, waren die gemessenen Verformungen am Schraubenkopf im Allgemeinen größer als bei den Elementen mit PUR-Schaum. Am Endauflager wurde während des Schwingvorgangs eine deutliche Zunahme der plastischen Verformungen gegenüber den Mittelauflegerversuchen gemessen. Letztere zeigten keine ungewöhnliche plastische Verformungszunahme.

Eine Abhängigkeit der zyklischen Tragfähigkeit von der Schraubenlage in der Hoch- oder Tiefsicke der Linierung konnte für die Mittelauflegerversuche nicht beobachtet werden. Bei den Endauflagerversuchen wurden Unterschiede sichtbar (s. Bild 8.13). Wie bei den PUR-Elementen ergab sich eine höhere Tragfähigkeit in der Hochsicke. Größere Differenzen der plastischen Verformungen zwischen Tiefsicke und Hochsicke wurden nicht festgestellt.

Die Durchknöpfversuche am Mittelaufleger (s. Bild 8.14) ergaben in allen Versuchsreihen $\alpha_{zykl} = 1,0$. In den Endauflagerversuchen (s. Bild 8.15) mit einem Randabstand von 20 mm wurde ein Faktor von 0,7 ermittelt, in einer einzelnen Versuchsreihe ein Faktor von 0,9. Bei vergrößertem Randabstand von 40 mm wurde größtenteils ein Faktor von 0,9 ermittelt. Zwei der Versuchsreihen ergaben einen Faktor von 0,7.

Ein möglicher Grund für die kleineren Abminderungen gegenüber PUR-Elementen kann aus dem Verformungsverhalten der Mineralwolle abgeleitet werden. Unter lokaler Beanspruchung durch die Schraube stellt sich ein Verformungstrichter im Deckblech ein (vgl. Bild 2.7). Dieser

hat bei Elementen aus Mineralwolle einen größeren Radius. Die Verformungen verteilen sich über eine größere Fläche, sodass auch weiter entfernte Bereiche des Blechs verformt werden. Dies kann trotz höherer Maximalverformungen zur Reduktion lokaler Spannungsspitzen bei der zyklischen Belastung beitragen. Nähere Untersuchungen der Deckblechspannungen und -verformungen wären notwendig, um das günstigere Verhalten der Mineralwolle genauer zu erfassen.

Unterschiede zwischen der Tragfähigkeit mit und ohne Stützgewinde an der Schraube wurden, mit Ausnahme einer Versuchsreihe am Endauflager, nicht festgestellt. Ebenso wenig hatte die Kernhöhe oder die Deckblechdicke einen sichtbaren Einfluss auf die zyklische Tragfähigkeit.

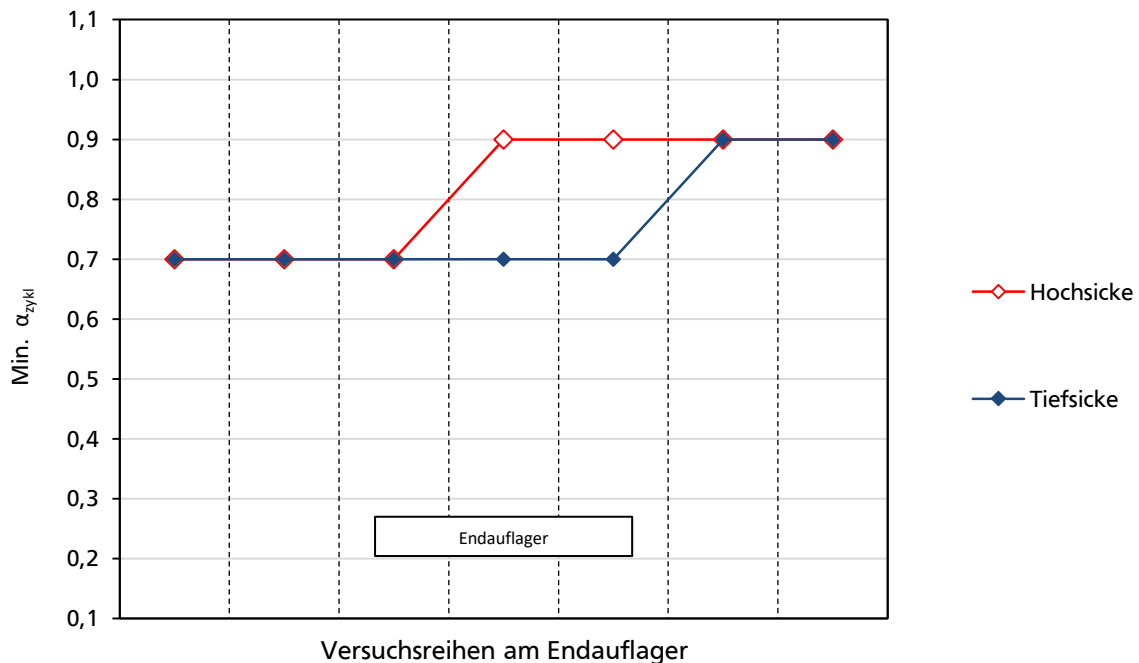


Bild 8.13: Minimaler zyklischer Abminderungsfaktor je Versuchsreihe getrennt nach Hoch- und Tiefsicke, Mineralwolle (Fa. Romakowski)

Zusammengefasst können für Elemente mit Mineralwollekern und unter Vernachlässigung einzelner Ausreißer die in der folgenden Tabelle genannten unteren Grenzwerte für α_{zykl} angegeben werden.

Tab. 8.2: Untere Grenzwerte α_{zykl} für Sandwichelemente aus Mineralwolle

Lage	α_{zykl}
Mittelaufleger	1,0
Randabstand $e = 20$ mm	0,7
Randabstand $e = 40$ mm	0,9

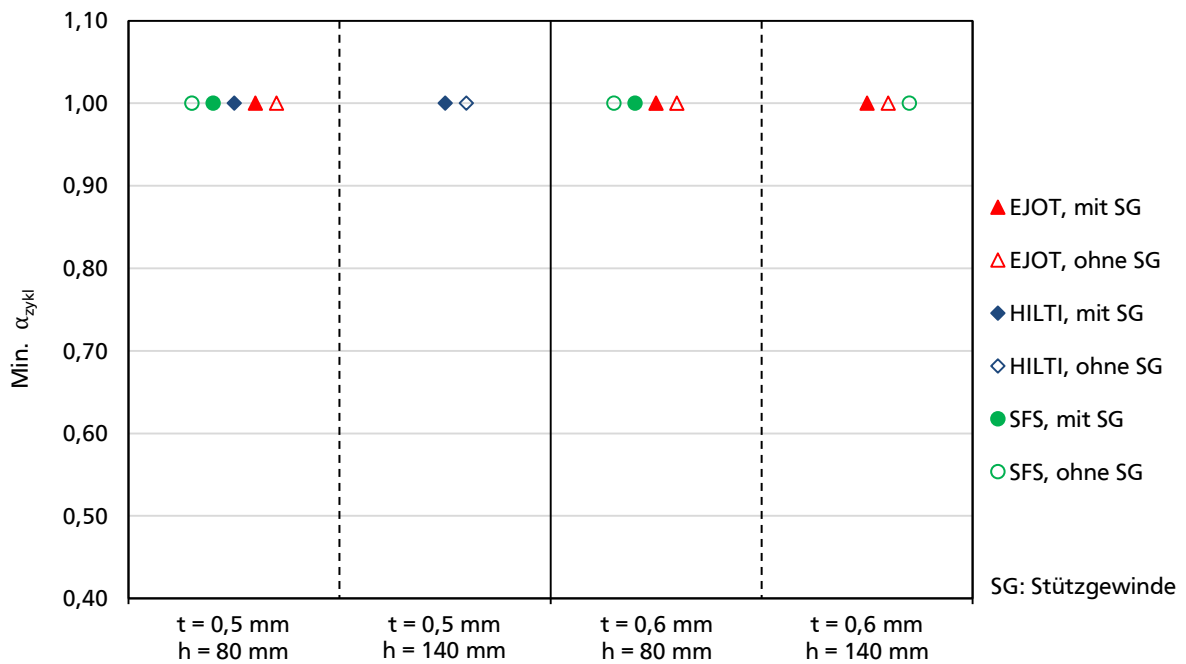


Bild 8.14: Minimaler zyklischer Abminderungsfaktor, Mineralwolle (Fa. Romakowski), Mittelauflager

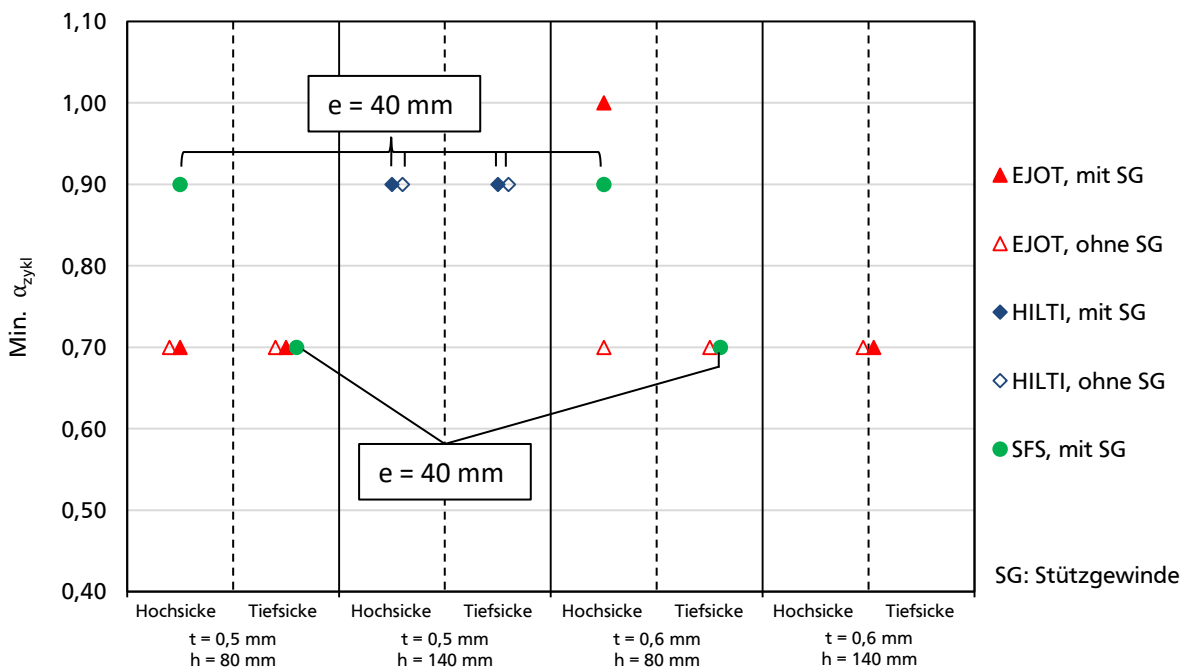


Bild 8.15: Minimaler zyklischer Abminderungsfaktor, Mineralwolle (Fa. Romakowski), Endauflager (e = 20 mm, sofern nicht anders angegeben)

Ein Bezug zur bisherigen Zulassungspraxis ist nicht möglich, da im Rahmen des Projektes keine Versuche an Bügelproben durchgeführt wurden. *Misiak* ermittelte in [6] für vergleichbare Unterlegscheiben-Durchmesser ein Verhältnis von Bügelprobe zu Mineralwolle-Element von

$$F_{Rt,SW} \approx 0,65 F_{Rt,Bü}. \quad (8.2)$$

Das Ergebnis kann aufgrund abweichender Elementabmessungen und Materialparameter nicht auf die in diesem Projekt verwendeten Elemente mit Mineralwollekern übertragen werden. Die Ergebnisse der statischen Versuche am Mittelaufleger (siehe z.B. Bild 8.2) – skaliert auf die Nennblechdicke nach Herstellerangaben und die Zugfestigkeit von 420 N/mm² – lagen in einer vergleichbaren Größenordnung wie die der PUR-Elemente.

9 Zusammenfassung und Empfehlung

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde die Durchknöpffragfähigkeit direkter Sandwichbefestigungen unter zyklischer Beanspruchung mittels kleinformatiger Sandwichelemente mit linierten Deckblechen untersucht. Verschiedene Kernmaterialien, Deckblechdicken, Kernhöhen und Schraubenhersteller wurden kombiniert. Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

- Die Auswertung der statischen Versuche zeigte, dass die Durchknöpffragfähigkeit nur geringfügig vom Stützgewinde in der Schraube beeinflusst wird. Die Erhöhung der Kerndicke von 80 mm auf 140 mm hatte bei PUR/PIR-Elementen einen positiven Effekt auf die Tragfähigkeit, bei Elementen mit Mineralwollekern nahm sie mit steigender Kerndicke ab. Die Lage des Schraubenkopfs in einer Hoch- oder Tiefsicke der Deckblechlinierung hatte keinen merklichen Einfluss auf die Versuchsergebnisse. Bei randnahen Befestigungen ergab sich eine reduzierte Tragfähigkeit:

PUR/PIR: ca. -20 % (e = 20 mm), ca. ± 0 % (e = 40 mm)

Mineralwolle: ca. -30 % (e = 20 mm), ca. -20 % (e = 40 mm)

- Während der zyklischen Belastung traten – insbesondere bei den Elementen mit PUR/PIR-Schaum – Ermüdungsrisse an den umliegenden Übergängen zwischen Hoch- und Tiefsicke auf, welche durch eine Verringerung der Oberlast reduziert wurden. Der Ort der Rissbildung deutet auf eine leichte Vorschädigung des Deckblechs durch den Umformprozess hin. Im Rahmen dieses Projektes wurde die einsetzende Rissbildung an der Linierung als Hauptursache für eine Reduktion des Faktors α_{zykl} identifiziert. In der Regel zeigten die Versuche, in denen ein Faktor $\alpha_{\text{zykl}} = 1,0$ erreicht wurde, keine sichtbare Vorschädigung nach dem Schwingvorgang. Die Ergebnisse der Auszugversuche hatten eine ähnliche Größenordnung, wie die der statischen Versuche. Bisherige Veröffentlichungen zur zyklischen Tragfähigkeit direkter Befestigungen gaben keine Hinweise auf ein Auftreten von Ermüdungsrisse im Deckblech.
- Eine eindeutige Abhängigkeit der zyklischen Tragfähigkeit von der Kernhöhe, der Deckblechdicke und des Stützgewindes in der Schraube wurde nicht festgestellt.
- Für die Elemente mit Kern aus Mineralwolle wurden größere Abminderungsfaktoren als bei PUR/PIR-Elementen ermittelt. Unter lokaler Beanspruchung durch die Schraube stellt sich ein Verformungstrichter im Deckblech ein, welcher bei Mineralwolle-Elementen einen größeren Radius hat. Verformungen verteilen sich über eine größere Fläche, was zur Reduktion lokaler Spannungsspitzen und des Risswachstums während der zyklischen Belastung beitragen kann.
- Die Lage der Schraube in einer Hoch- oder Tiefsicke der Deckblechlinierung hatte einen großen Einfluss auf die zyklische Tragfähigkeit von PUR/PIR-Elementen. Mittelauf-lagerversuche in der Hochsicke, sowie Endauflagerversuche in der Tiefsicke, zeigten eine verstärkte Rissbildung, einhergehend mit einer Reduktion von α_{zykl} . Hierbei wurde eine Zunahme der plastischen Verformungen des Deckblechs am Schraubenkopf gemessen. Es ist anzunehmen, dass in den genannten Fällen ungünstigere Spannungsverläufe

bzw. größere Spannungsspitzen an den Übergängen der Linierung auftreten, welche die Schädigung des Deckblechs begünstigen. Bei Mineralwolle-Elementen trat der Effekt nur vereinzelt am Endauflager auf.

- Nähere Untersuchungen der Deckblechspannungen und Verformungen wären notwendig, um das günstigere Verhalten von Mineralwolle-Elementen bei zyklischer Belastung sowie das differierende Verhalten von Hoch- und Tiefsicke bei PUR/PIR-Elementen zu erklären.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens, dass die zyklische Tragfähigkeit direkt befestigter Sandwichelemente von einer Vielzahl an Faktoren abhängt, die nicht durch Versuche an Bügelproben abgebildet werden können. Es wird empfohlen, die Zulassungsversuche an kleinformatigen Sandwichelementen unter zyklischer Belastung gemäß prEN 14509-2 [5] durchzuführen.

Die Vorgabe des Einbauorts (Hoch- oder Tiefsicke) der Schraube ist nicht praxistauglich, weswegen folgende untere Grenzwerte¹ für den zyklischen Abminderungsfaktor angegeben werden.

Tab. 9.1: Minimale Abminderungsfaktoren α_{zykl}

	PUR/PIR	MiWo
Lage	α_{zykl}	α_{zykl}
Mittelaufleger	0,8	1,0
Randabstand e = 20 mm	0,6	0,7
Randabstand e = 40 mm	0,7	0,9

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, unterscheiden sich die Faktoren hinsichtlich des verwendeten Kernmaterials und der Lage im Bauteil. Die Angabe eines pauschalen Abminderungsfaktors ist aufgrund der vielzähligen Einflüsse nicht zweckmäßig und unwirtschaftlich. Eine Differenzierung des Faktors nach Lage und Kernmaterial wird empfohlen.

Ein abschließender Bezug der Ergebnisse zur momentanen Zulassungspraxis kann mangels vergleichender Versuche an Bügelproben nicht durchgeführt werden. Ähnliche Forschungsprojekte anderer Autoren ergaben – mit geringerer Versuchsanzahl – günstigere Abminderungsfaktoren für PUR/PIR-Elemente am Mittelaufleger ($\alpha_{\text{zykl}} = 1,0$). Zu zyklischen Versuchen an Mineralwolle-Elementen und zyklischen Endauflagerversuchen existieren nach Kenntnisstand des Autors keine veröffentlichten Ergebnisse. Die eingangs geäußerte Vermutung, dass die bisherige Zulassungspraxis zu konservativen Durchknöpftragfähigkeiten führt, kann im Hinblick auf die Endauflagerversuche nicht bestätigt werden.

¹ Die angegebenen Werte wurden nur in wenigen Versuchsreihen unterschritten.

10 Literaturverzeichnis

- [1] AbZ Nr. Z-14.4-407, „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Gewindeformende Schrauben zur Verbindung von Sandwichelementen mit Unterkonstruktionen aus Stahl oder Holz“, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 2014
- [2] EOTA: EAD 330047-01-0602 „Fastening screws for sandwich panels“, 2016
- [3] Klee, S.; Seeger, T.: „Vorschlag zur vereinfachten Ermittlung von zulässigen Kräften für Befestigungen von Stahltrapezblechen“, Veröffentlichung des Instituts für Statik und Stahlbau der Technischen Hochschule Darmstadt, Heft 33, Darmstadt, 1979
- [4] ECCS Nr. 127 – CIB Nr. 320, TWG 7.9 und W056, „Preliminary European Recommendations for Testing and Design of Fastenings of Sandwich Panels“ Brüssel/Rotterdam, 2009
- [5] prEN 14509-2: „Sandwich-Elemente mit beidseitigen Metalldeckschichten – Werkmäßig hergestellte Produkte – Spezifikationen – Teil 2: Tragende Anwendungen – Befestigungen und mögliche Nutzung zur Stabilisierung von einzelnen tragenden Bauteilen“, Draft 7.11.2016, CEN/TC 128, Brüssel, 2016
- [6] Misiak, Th.; Saal, H.: „Durchknöpffragfähigkeit der Befestigungsmittel von Sandwichelementen bei direkter Befestigung“, Bericht 061505, Versuchsanstalt für Holz, Stahl und Steine, Universität Karlsruhe, Band T3160, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2008
- [7] Kilian, K.: „Befestigung von Sandwichelementen unter kombinierter Zug- und Querkraftbeanspruchung“, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, 2017
- [8] Misiak, Th.; Saal, H., Kathage, K.: „Durchknöpffragfähigkeit der Befestigungsmittel von Sandwichelementen bei direkter Befestigung“, Stahlbau 77, Heft 5, S. 352 - 359, Ernst und Sohn Verlag, Berlin, 2008
- [9] Kilian, K.; Lange, J.; Naujoks, B.: „Verbindungen von Sandwichelementen unter kombinierter Längs- und Querkraftbeanspruchung“, Stahlbau 84, Heft 11, S. 866-874, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2015
- [10] Lübke, S.: „Zur Tragfähigkeit von Sandwichelementen unter lokaler Beanspruchung“, Dissertation, Technische Universität Dortmund, 2014
- [11] Hassinen, P.; Misiak, Th.: „Fixings of sandwich panels in building applications.“ Nordic Steel Construction Conference 2009 – Proceedings, S. 263-271, 2009
- [12] Misiak, Th.; Ummenhofer, Th.: „Crest-Fixing of Profiled Sandwich Panels without Saddle Washers“, 7th International Conference on Steel and Aluminium Structures, 2011.