Institut für Stahlbau
Ingenieurholzbau

RWTH AACHEN UNIVERSITY

Prof. Dr.-Ing. Benno Hoffmeister
Mies-van-der-Rohe-Str. 1
D-52074 Aachen

Telefon: +49 241 80-25183
Fax: +49 241 80-22140

hoff@stb.rwth-aachen.de
www.stb.rwth-aachen.de

Versuchsbericht

Experimentelle Untersuchung des Tragverhaltens von Holztafelwänden mit Bekleidung – Reihe 1 – Einseitige Plattenanordnung

Lukas Rauber, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Benno Hoffmeister

Im Forschungsprojekt

HELEPOLIS

Impressum

Experimentelle Untersuchung des Tragverhaltens von Holztafelwänden mit Bekleidung – Reihe 1 – Einseitige Plattenanordnung

Autoren
Lukas Rauber, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Benno Hoffmeister

RWTH Aachen University
Institut für Stahlbau
Fachgebiet Ingenieurholzbau
Mies-van-der-Rohe-Str. 1
52074 Aachen
Germany

RWTH Aachen University
Templergraben 55
52062 Aachen
Germany

1. Auflage 2025

Der Bericht entstand im Rahmen des Forschungsprojekts HELEPOLIS, welches im Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) durch das BMEL mit dem Förderkennzeichen 2221HV075B gefördert wird.

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Verfügbar über das institutionelle Repositorium der RWTH Aachen University:
DOI: 10.18154/RWTH-2025-01547

Diese Arbeit ist lizensiert unter einer CC BY-NC-SA 3.0 DE Lizenz. Von der Lizenz ausgenommen sind Texte, Abbildungen oder anderes fremdes Material, soweit anders gekennzeichnet.

Kurzfassung

In diesem Bericht werden Versuche zum horizontalen Tragverhalten von Holztafelwänden (HTW) mit Bekleidung vorgestellt, die im Rahmen des Forschungsprojekts HELEPOLIS durchgeführt wurden. Dieser Bericht umfasst Versuchsreihe 1, bei der die Probekörper einseitig beplankt (und bekleidet) waren. Ziel der Versuche war die Untersuchung der Tragfähigkeit, Steifigkeit, Duktilität und des zyklischen Tragverhaltens. Der Bericht beschreibt das verwendete Material, das Versuchsprogramm, die Datenauswertung sowie die Ergebnisse der Versuche. Im Anhang sind die einzelnen Versuchsprotokolle und Auswertungsergebnisse pro Wandversuch aufgeführt.

Abstract

This report presents tests on the horizontal load-carrying behaviour of light timber-framed shear walls with cladding, which were carried out as part of the HELEPOLIS research project. This report covers test series 1, in which the test specimens were sheathed (and clad) on one side. The aim of the tests was to investigate load-carrying capacity, stiffness, ductility and cyclic load-carrying behaviour. The report describes the material used, the test program, the data evaluation and the results of the tests. The individual protocols and results for each wall test are listed in the appendix.

Vorwort

Im Rahmen des Forschungsprojekts *HELEPOLIS* wird der Einfluss von Bekleidungen auf das Tragverhalten von Holztafelwänden (HTW) untersucht. Aufbauend auf experimentellen Untersuchungen soll eine Berechnungsmethode für HTW mit Bekleidung entwickelt werden. Dieses Dokument umfasst die Dokumentation der experimentellen Untersuchungen der HTW-Versuchsreihe 1 zum Tragverhalten von Holztafelwänden mit Bekleidung des Forschungsprojektes. Die Veröffentlichung dieser Dokumentation dient der Verfügbarmachung der umfänglichen Informationen zur Durchführung und Auswertung der durchgeführten HTW-Versuche.

Für die Mithilfe bei der Durchführung und Auswertung der Versuche wird vor allem Phillip Hoffknecht und Andreas Grillborzer gedankt, die im Rahmen ihrer Masterarbeiten maßgebend zu deren Gelingen beigetragen haben. Außerdem bedanken wir uns für die Unterstützung bei Theresia Stollenwerk, Julian Schmidt sowie dem gesamten Team der Versuchshalle. Vera Wilden und Andreas Cremer wird für die nützliche Vorarbeit zur Auswertung von HTW-Versuchen im vorangegangenen Forschungsprojekt *ZIM-HOLZBEBEN* gedankt.

Die Durchführung des Projekts und der Versuche wäre ohne die *Projektpartner Walter + Reif Ingenieurgesellschaft mbH* und *die Adams Holzbau-Fertigbau GmbH* nicht möglich. Wir bedanken uns für die gute Zusammenarbeit bei unseren Projektpartnern. Auch den assoziierten Partnern sei an dieser Stelle für den praxisnahen Input und für Materialspenden gedankt.

Wir bedanken uns auch für die Förderung des Projektes *HELEPOLIS* im Rahmen des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“ über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe durch das BMEL (Förderkennzeichen 2221HV075B).

Aachen, im Februar 2025

Benno Hoffmeister und Lukas Rauber

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Material 1

2.1 Rahmen 2

2.2 Beplankung und Bekleidung 3

2.3 Verbindungsmittel 3

3 Versuchsprogramm 4

3.1 Probekörper 6

3.2 Prüfstand 7

3.3 Messkonzept 9

3.4 Monotones Lastprotokoll 10

3.5 Zyklisches Lastprotokoll 11

4 Datenauswertung 11

5 Ergebnisse 17

5.1 Monotone Belastung 17

5.2 Zyklischen Versuche 19

5.3 Versagensmechanismen 20

6 Literatur 23

A Bauteildefinition 24

B Untersuchungsprotokolle 25

B.1 Wandtafel 01_m_1 25

B.2 Wandtafel 01_m_2 31

B.3 Wandtafel 02_oA_m_1 37

B.4 Wandtafel 03_m_1 43

B.5 Wandtafel 03_m_2 49

B.6 Wandtafel 04_m_1 55

B.7 Wandtafel 05_m_1 61

B.8 Wandtafel 05_m_2 68

B.9 Wandtafel 06_m_1 75

B.10 Wandtafel 07_m_1 82
B.11 Wandtafel 08_m_1 89
B.12 Wandtafel 08_m_2 96
B.13 Wandtafel 09_m_1 103
B.14 Wandtafel 10_m_1 110
B.15 Wandtafel 01_c_1 117
B.16 Wandtafel 02_oA_c_1 125
B.17 Wandtafel 03_c_1 133
B.18 Wandtafel 04_c_1 141
B.19 Wandtafel 05_c_1 149
B.20 Wandtafel 06_c_1 158
B.21 Wandtafel 07_c_1 167
B.22 Wandtafel 08_c_1 175
B.23 Wandtafel 09_c_1 184
B.24 Wandtafel 10_c_1 193

1 Einleitung

Im Forschungsprojekt HELEPOLIS wird der Einfluss von Bekleidungen auf das Tragverhalten von Holztafelwänden (HTW) untersucht. Dazu werden Detailversuche, Wandversuche und Gebäudeteilversuche durchgeführt. Dieser Bericht umfasst die Beschreibung der durchgeführten HTW-Versuche der Versuchsreihe 1. Die Versuche dienen der Untersuchung des Trageinflusses von Bekleidungen auf Wandebene. In Reihe 1 wurden HTW-Probekörper mit einseitiger Plattenanordnung getestet. Hierbei wurden Referenzversuche an ausschließlich beplankten Probekörpern sowie Versuche an Probekörpern mit zusätzlicher Bekleidung durchgeführt.

Die experimentellen Untersuchungen wurden in der Versuchshalle des *Zentrums für Metallische Bauweisen (ZMB)* der *RWTH Aachen* im Zeitraum vom 30.05.2023 bis zum 25.07.2023 durchgeführt.

2 Material

In diesem Abschnitt werden die verwendeten Materialien aufgeführt. Die grundsätzlichen Komponenten der Prüfkörper zeigt Abbildung 2-1. Die Prüfkörper wurden von der Fa. Adams Holzbau-Fertigbau GmbH gefertigt.

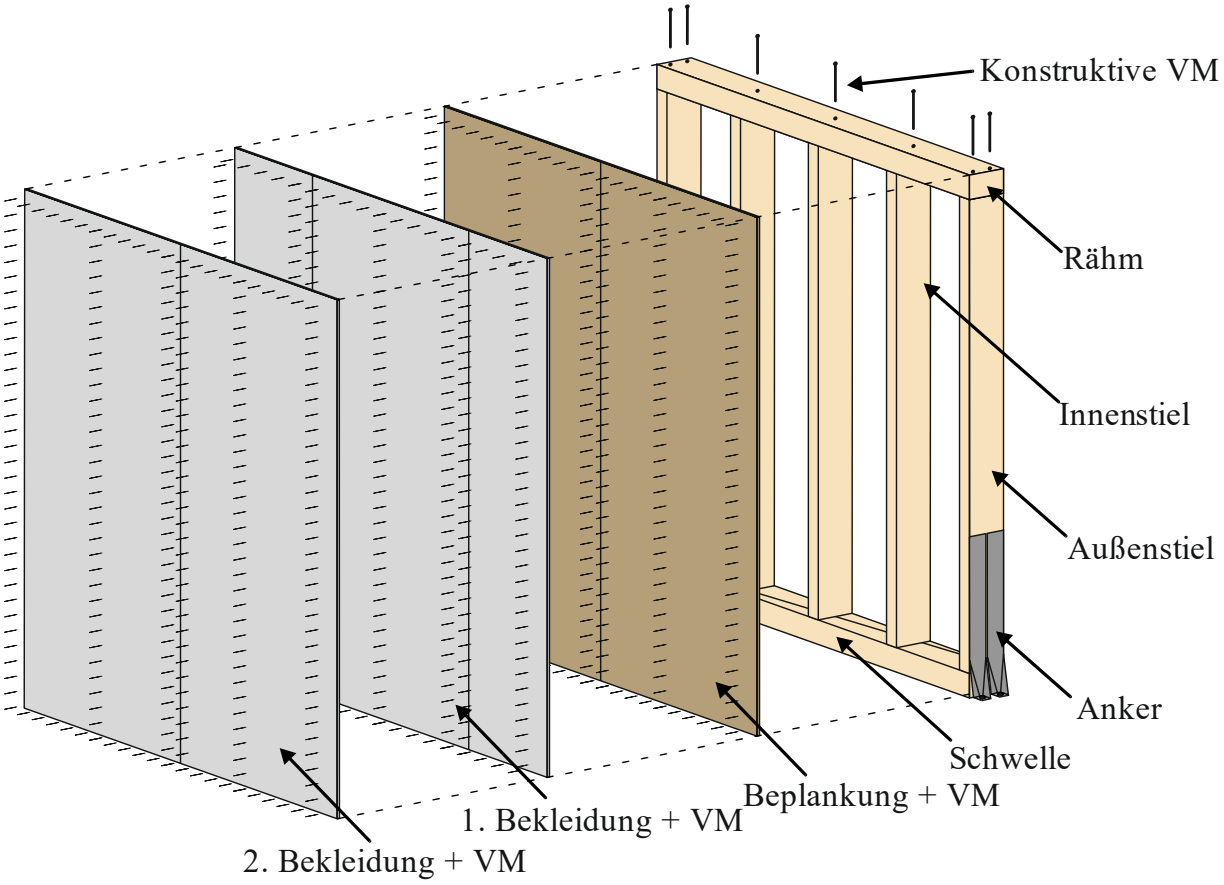


Abbildung 2-1: Komponenten der HTW-Probekörper mit Beplankung und Bekleidung

2.1 Rahmen

Der HTW-Rahmen bestand bei allen Versuchen aus Konstruktionsvollholz (KVH) der Festigkeitsklasse C24. Tabelle 2-1 zeigt die gemessenen Rohdichten nach *DIN 52182* [1], die zugehörige Holzfeuchte nach *DIN EN 13183-2* [2].

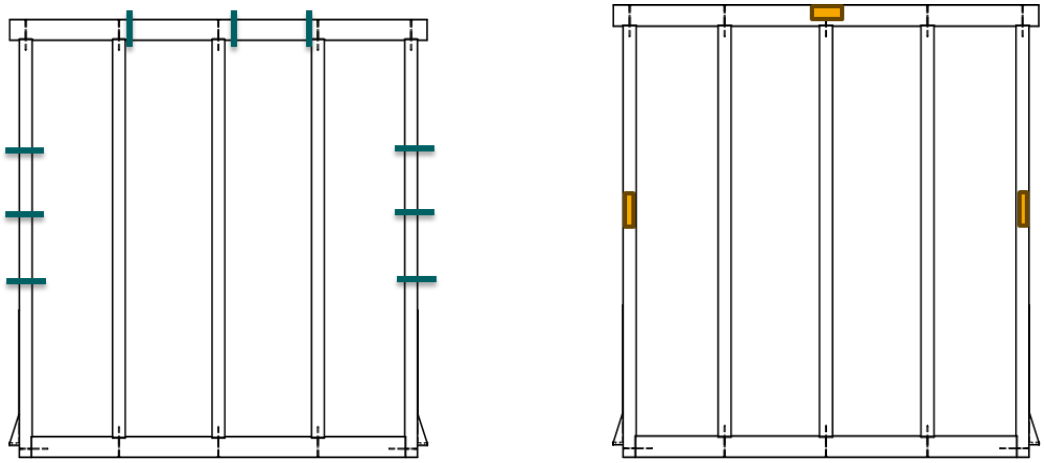


Abbildung 2-2: Prüfstellen der Feuchte- (links) und Rohdichtebestimmung (rechts)

Tabelle 2-1: Mittelwerte der gemessenen Holzfeuchte und Rohdichte der HTW-Rahmen

Serie	Prüfkörper	Holzfeuchte ω [%]	Rohdichte ρ_ω [kg/m³]
0	01_m_1	13,76	410
	01_m_2	14,52	449
	01_c_1	13,01	469
	02_oA_m_1	14,87	462
	02_c_1	12,16	454
	03_m_1	14,98	460
	03_m_2	14,49	447
	03_c_1	13,50	439
	04_m_1	13,06	472
	04_c_1	13,57	455
1	05_m_1	14,56	479
	05_m_2	15,59	501
	05_c_1	14,03	497
	06_m_1	13,62	465
	06_c_1	12,78	460
	07_m_1	13,61	446
	07_c_1	13,14	431
2	08_m_1	14,61	440
	08_m_2	14,54	444
	08_c_1	12,77	435
	09_m_1	12,80	403
	09_c_1	12,87	478
	10_m_1	14,93	450
	10_c_1	12,79	415

2.2 Beplankung und Bekleidung

In den Versuchen wurden OSB/3-Platten der Fa. *Egger Holzwerkstoffe Wismar GmbH & Co. KG* nach *DOP-734-03* [3] und GFB-Platten der Fa. *James Hardie Europe GmbH (Fermacell)* nach *ETA-03/0050* [4] verwendet. Die OSB/3-Platten waren einheitlich 15 mm dick, für die GFB-Platten kamen 12,5 mm und 18 mm Stärke zum Einsatz. Die gewählten Platten waren standardmäßig 2,50 m hoch und 1,25 m breit. Die Stoßfugen der jeweils obersten GFB-Plattenlage (Beplankung oder Bekleidung) wurden mit Fermacell Greenline Fugenkleber verklebt. Die Stoßfugen der jeweils obersten GFB-Bekleidungslage wurden zudem mit PE Dampfbremsfolie artic.stop 250 von *BBG Foliengesellschaft mbH* auf der darunterliegenden Platte hinterlegt.

2.3 Verbindungsmittel

Als Verbindungsmittel zur Befestigung der Platten wurden beharzte Klammern der Fa. Haubold nach *ETA-16/0535* [5] verwendet. Diese Klammern mit verzinktem Stahldraht sind in Abbildung 2-3 dargestellt und die Eigenschaften in Tabelle 2-2 aufgeführt. Die Klammern wurden einheitlich mit einem Klammerabstand von s (bzw. a_v) = 75 mm ausgeführt. Als konstruktive Befestigungsmittel der Rahmenhölzer wurden im Herstellungsprozess Teilgewindeschrauben ⌀8×200 mm des Herstellers *Adolf Würth GmbH & Co. KG* eingesetzt.

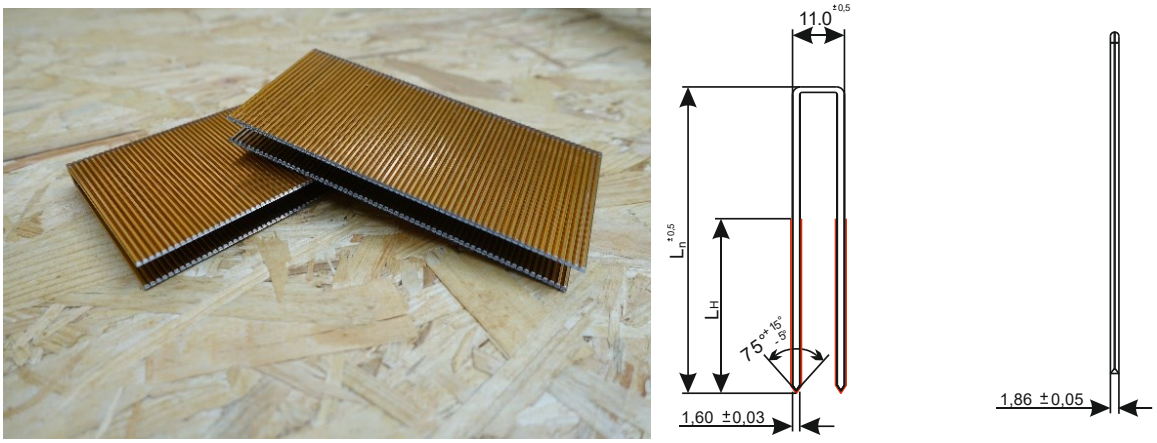


Abbildung 2-3: **Klammern des Typs HD 7965 (links) mit Abmessungen nach ETA-16/0535 [5] (rechts)**

Tabelle 2-2: Eigenschaften der verwendeten beharzten Klammern nach ETA-16/0535 [5]

Klammer 1,80 - 65 mm			**Klammer 1,80 - 75 mm**			**Spreizklammer 1,53 - 35 mm**		
Typ:	HD 7965		Typ:	HD 7975		Typ:	KG735 CDNK	
d =	1,80	mm	d =	1,80	mm	d =	1,53	mm
L_n =	65	mm	L_n =	75	mm	L_n =	35	mm
b_R =	11,25	mm	b_R =	11,25	mm	b_R =	11,25	mm
f_u =	900	N/mm²	f_u =	900	N/mm²	f_u =	900	N/mm²

3 Versuchsprogramm

Die Prüfungsreihe umfasste insgesamt 24 HTW-Versuche. Sie wurden in drei Prüfserien eingeteilt, die sich hinsichtlich des Wandaufbaus unterscheiden. In Prüfserie 0 wurden Versuche an Referenzwandtafeln ohne Bekleidung durchgeführt. In Abhängigkeit des Beplankungsmaterials (OSB oder GFB) wurden die Wandtafeln mit einfacher und zweifacher Bekleidung in die Prüfserien 1 und 2 eingeteilt.

Die Belastung wurde entweder monoton oder zyklisch aufgebracht. Eine Übersicht zur Versuchsmatrix der HTW-Versuche ist in der Abbildung 3-1 zu sehen.

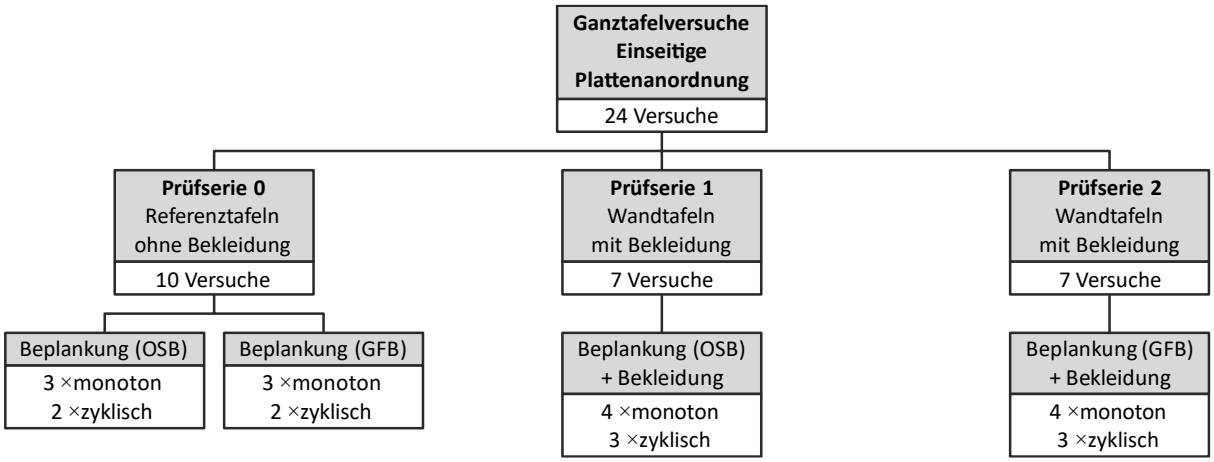
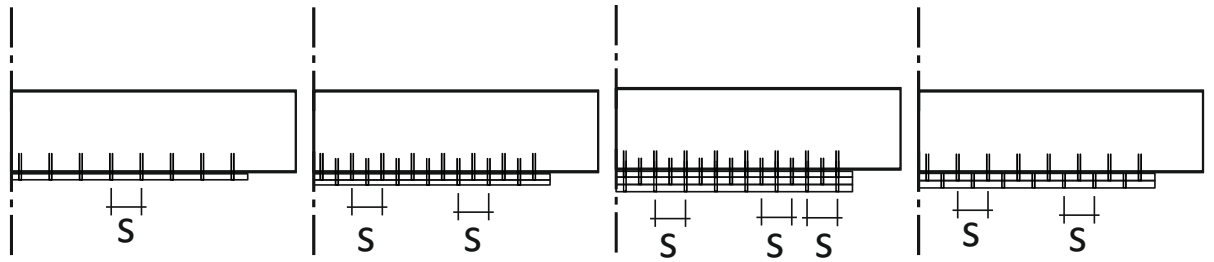


Abbildung 3-1: Übersicht über die Ganztafelversuche mit einseitiger Plattenanordnung

Die Wandaufbauten unterschieden sich hinsichtlich der nachfolgenden Kriterien:

- Ausführung der Beplankung (Material, Plattendicke)
- Ausführung der Bekleidung (Material, Plattendicke und Anzahl)
- Art der Verbindungsmittel (Klammern, Spreizklammern)
- Ausbildung des Rippengerüsts (Ausklinkung)

Tabelle 3-1 zeigt die Versuchsmatrix mit den zugehörigen Aufbauten der Probekörper sowie die Belastungsart (monoton oder zyklisch). Abbildung 3-2 zeigt qualitativ die Klammerung in der Kopfrippe der verschiedenen Probekörpertypen. Im Anschluss sind der Aufbau der Probekörper, der Prüfstand, das Messkonzept sowie die Lastprotokolle beschrieben.



(a) Typ 01, 02, 03, 04 (b) Typ 05, 06, 08, 09 (c) Typ 07 (d) Typ 10

Abbildung 3-2: Klammerung in der Kopfrippe der verschiedenen Probekörpertypen

Tabelle 3-1: Übersicht der geprüften Wandaufbauten in Reihe 1

Serie	Wandtyp	Last	Ausklinkung	Platten	Beplankung	Bekleidung	Klammerung Bekleidung
0	01_m_1	Mon.	Ja	1-seitig	1× OSB 15	-	-
	01_m_2	Mon.					
	01_c_1	Zykl.					
	02_oA_m_1	Mon.	Nein	1-seitig	1× OSB 15	-	-
	02_oA_c_1	Zykl.					
	03_m_1	Mon.	Ja	1-seitig	1× GFB 12,5	-	-
	03_m_2	Mon.					
	03_c_1	Zykl.					
	04_m_1	Mon.	Ja	1-seitig	1× GFB 18	-	-
	04_c_1	Zykl.					
1	05_m_1	Mon.	Ja	1-seitig	1× OSB 15	1× GFB 12,5	Ø 1,80 - 65
	05_m_2	Mon.					
	05_c_1	Zykl.					
	06_m_1	Mon.	Ja	1-seitig	1× OSB 15	1× GFB 18	Ø 1,80 - 65
	06_c_1	Zykl.					
	07_m_1	Mon.	Ja	1-seitig	1× OSB 15	2× GFB 18	Ø 1,80 - 65 (2. Bekl. - 75)[1]
	07_c_1	Zykl.					
2	08_m_1	Mon.	Ja	1-seitig	1× GFB 12,5	1× GFB 12,5	Ø 1,80 - 65
	08_m_2	Mon.					
	08_c_1	Zykl.					
	09_m_1	Mon.	Ja	1-seitig	1× GFB 18	1× GFB 18	Ø 1,80 - 65
	09_c_1	Zykl.					
	10_m_1	Mon.	Ja	1-seitig	1× GFB 18	1× GFB 18	Ø 1,53-35 (S)
	10_c_1	Zykl.					

Hinweise:
Zur Verbindung der Beplankung am Rahmen wurden einheitlich Klammern (Ø 1,80 – 65) verwendet. Der Klammerabstand pro Plattenlage wurde einheitlich zu s = 75 mm gewählt.
[1] Die Klammerreihe der zweiten Bekleidung lag über der der Beplankung (Abbildung 3-2c).

3.1 Probekörper

Die technische Zeichnung des Probetyps 06 mit einseitiger Beplankung und Bekleidung ist in Abbildung 3-3 dargestellt. Alle anderen Probekörper sind analog aufgebaut.

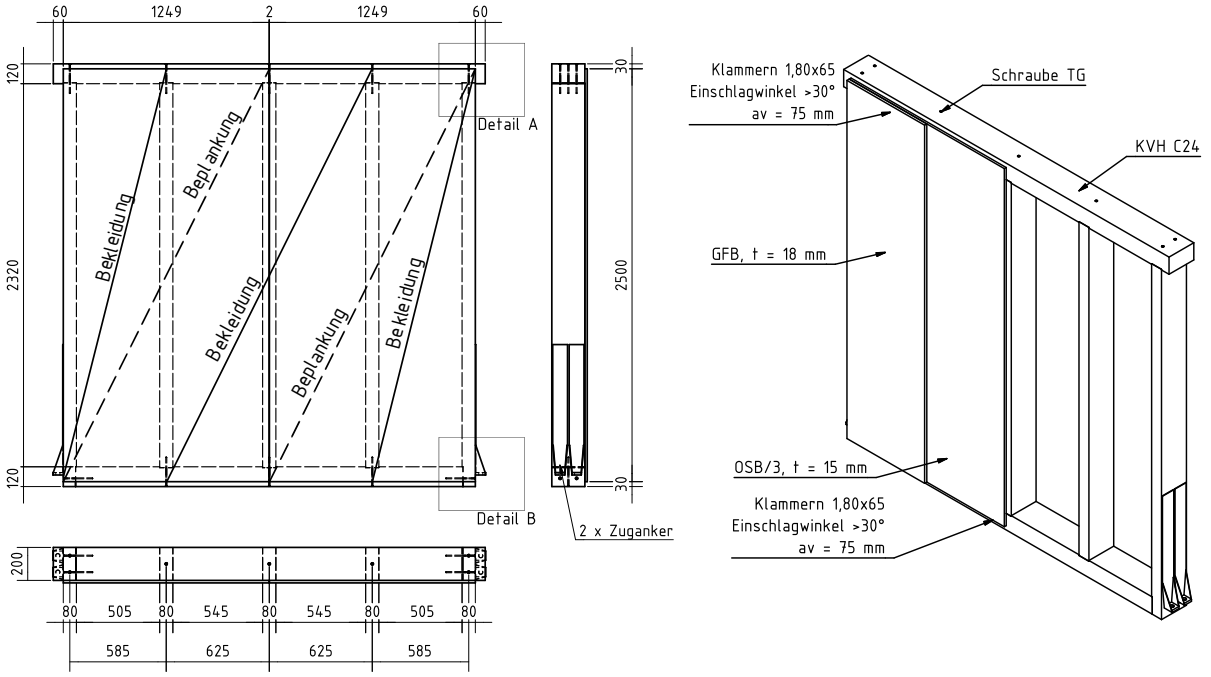


Abbildung 3-3: Technische Zeichnung WT 06 (links) und 3D-Ansicht (rechts)

Die Probekörper sind mit einer fertigungsüblichen Ausklinkung an den Stoßpunkten der Rippen ausgeführt. Bei Typ 02 ist keine Ausklinkungen vorgesehen, um deren Einfluss zu testen. Nachfolgende Abbildung 3-4 zeigt die Details der Rippenstöße der Probekörper.

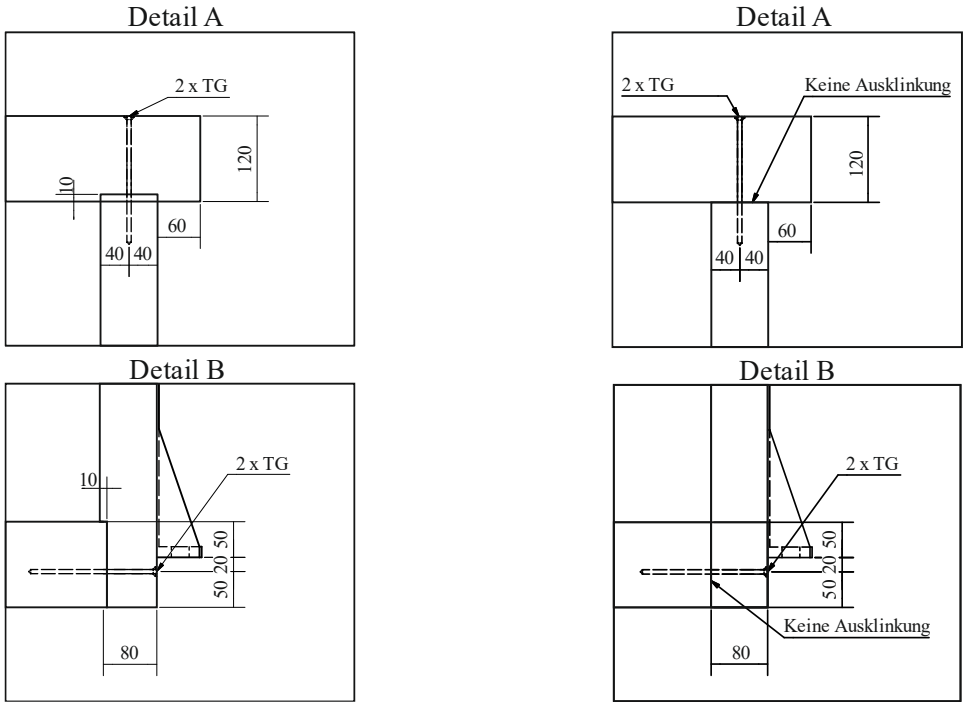


Abbildung 3-4: Details von Probekörpern mit (links) und ohne Ausklinkung bei Typ 02 (rechts)

3.2 Prüfstand

Der Prüfstand ist in Abbildung 3-5 dargestellt. Er setzt sich im Wesentlichen aus der horizontalen Lasteinleitung, der vertikalen und horizontalen Lagerung am Auflagerprofil sowie der seitlichen Halterung an der Kopfrippe zusammen. Auf die genannten Bestandteile wird nachfolgend eingegangen. Bei der Prüfstandauslegung sind die Untersuchungen von Dujic et al. 2005 [6] einbezogen worden, um einen möglichst reinen Schubmechanismus der Tafeln zu gewährleisten. Dies sollte ohne Auflast durch eine ausreichende Verankerung der Probekörper erreicht werden.

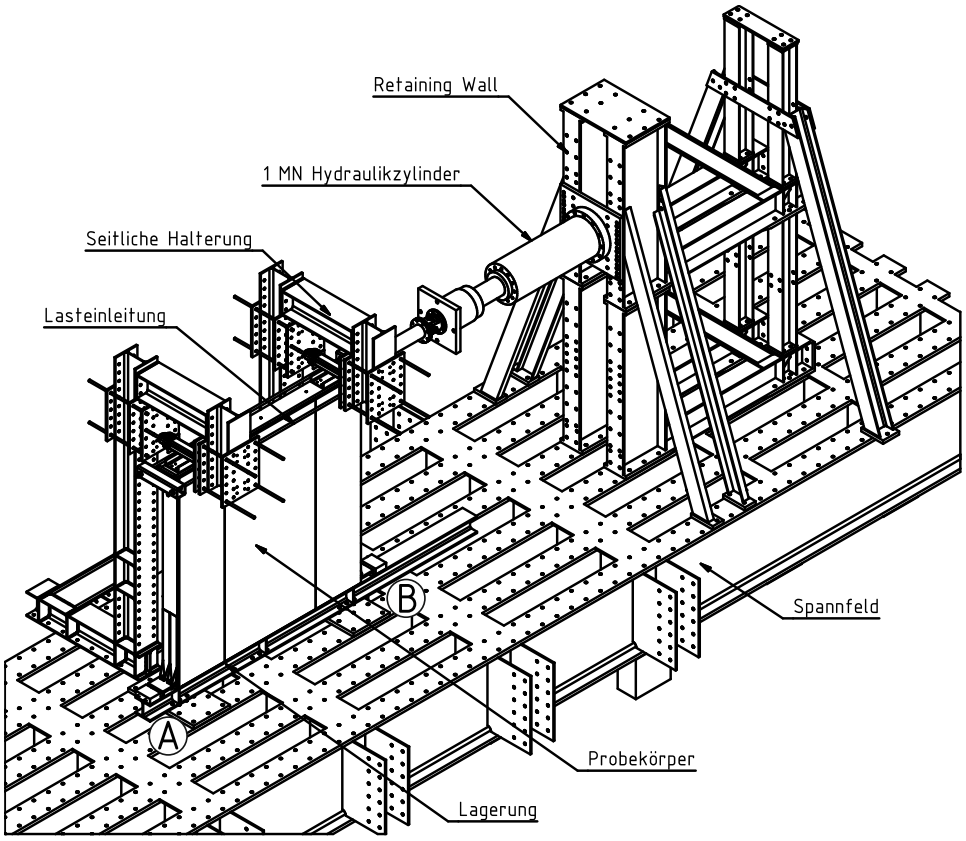


Abbildung 3-5: 3D-Darstellung des Prüfstandes

Lasteinleitung

Die horizontale Schubbelastung wird über einen Hydraulikzylinder des Herstellers *Schenck* mit einer Maximalkraft von 1000 kN und einem maximalen Hubweg von 400 mm in den Probekörper eingeleitet. Der Zylinder wird auf der Höhe der Kopfrippe an einer Konstruktion aus Stahlprofilen, der sogenannten Retaining Wall, befestigt.

Hinweis: Entgegen der Planung wurde im Verlauf der Untersuchungen festgestellt, dass die tatsächliche Wirkungsachse des Prüfzylinders auf Höhe der Kopfrippe um circa 25 mm orthogonal zur Wandachse in Richtung der Wandvorderseite verschoben ist. Diese Verschiebung resultiert wahrscheinlich aus einer leichten Verdrehung der Vertikalachse der Retaining Wall im Zuge der Prüfstandmontage. Sie ist im Prüfstand nicht vorgesehen und führt zu einer leicht exzentrischen Lasteinleitung.

Lagerung

Als Auflagefläche für die Fußrippe der Probekörper, dient am gewählten Prüfstand ein Stahlprofil HEB 200, das mit Adapterplatten auf dem Spannfeld fixiert wird. Über je zwei Zuganker HTT31 des Herstellers *Simpson Strong-Tie* nach ETA-07/0285 [7] werden die Probekörper an den Endstielen befestigt. Die Zuganker werden seitlich mit jeweils 41 CNA-Kammnägeln und vier CSA-Verbinderschrauben an den Endstielen befestigt und zur Lastweiterleitung mit jeweils einer M24-Schraube mit dem Stahlprofil verbunden. Die Probekörper werden über Kontaktpressung mit einem Anschlussformteil in Wandlängsrichtung gehalten. In Abbildung 3-6 ist der beschriebene Auflagerpunkt dargestellt.

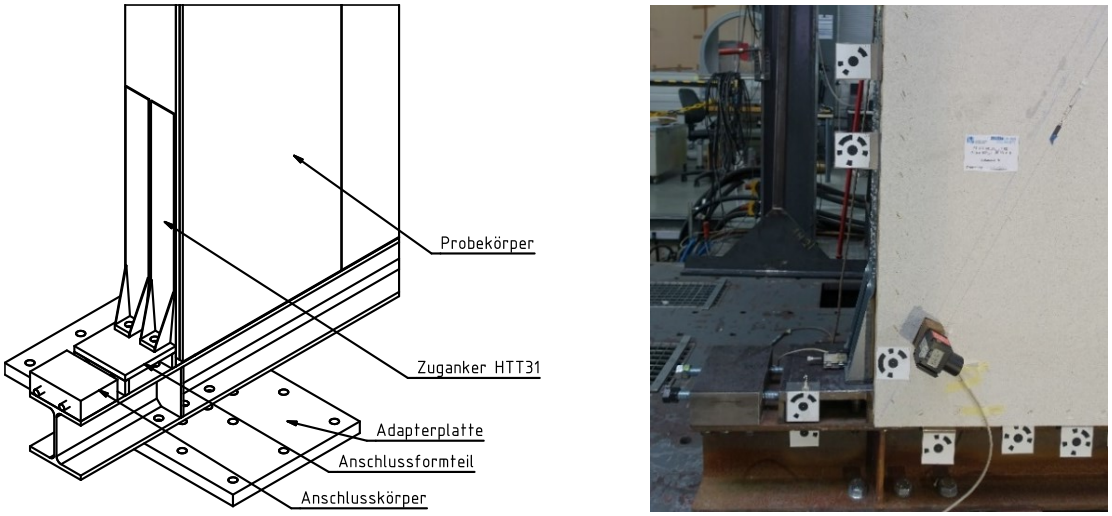


Abbildung 3-6: 3D-Ansicht (links) und Foto (rechts) des Prüfstandauflagers A

Seitliche Halterung

Durch eine seitliche Halterung der Kopfrippe durch Rolllager (Abbildung 3-7) soll ein Ausweichen der Wandtafeln vermieden werden. Dazu wird je ein Rolllager im vorderen Bereich und ein Rolllager im hinteren Bereich der Wandtafel positioniert und mit Schrauben verbunden.

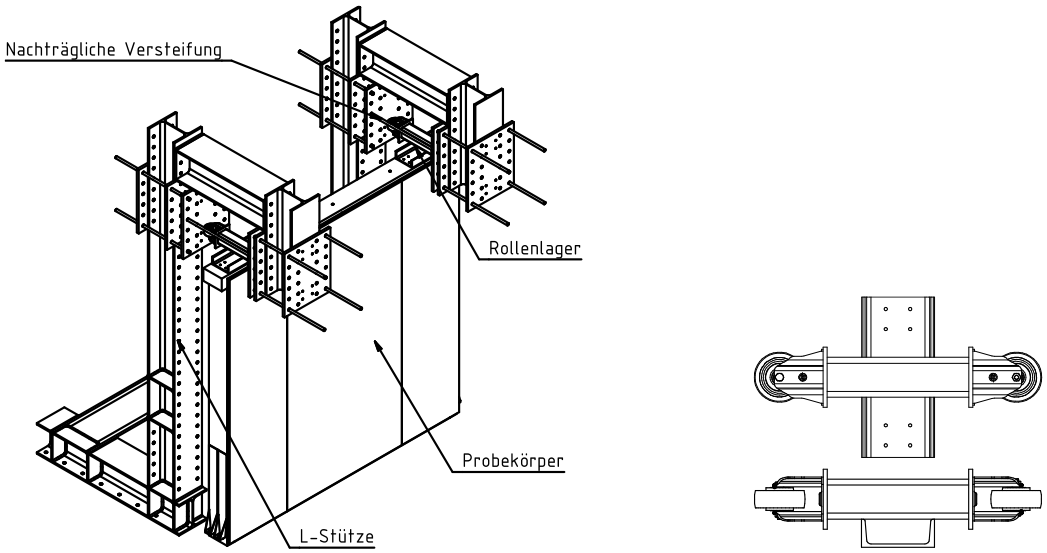


Abbildung 3-7: 3D-Ansicht der seitlichen Halterung (links) und 2D-Ansichten der Rollenlager (rechts)

3.3 Messkonzept

In den Versuchen wurde ein konventionelles Messkonzept verfolgt (Prüfkraftmessung, Weg- und Neigungsmesseinheiten). Neben der konventionellen Messeinrichtung wurde auch das photogrammetrische Messsystem *Phidias* der Fa. *PHOCAD* verwendet. Dieses photogrammetrische Messkonzept wird in diesem Protokoll jedoch nicht behandelt. Die Messtoleranzen der verwendeten Messinstrumente sind in Tabelle 3-2 aufgelistet. Die Messstellenbezeichnung ergibt sich aus dem Notationsschema in Tabelle 3-3. Ein Überblick über alle Messstellen ist in Abbildung 3-8 und Abbildung 3-9 gegeben.

Tabelle 3-2: Messtoleranzen der verwendeten Messtechnik

Messinstrument	Funktion	Linearitätsabweichung
Wegtaster TR 25	Wegmessung	± 0,05 mm
Wegtaster TR 100	Wegmessung	± 0,075 mm
Seilzug-Sensor	Wegmessung	± 0,75 mm
Neigungssensor	Neigungsmessung	± 0,1 ° (Messbereich 0 - 10°)
Kraftmessdose	Kraftmessung	± 0,5 - 1,0 %
Spider	Messwerterfassung	± 0,1 % von Messbereich des Sensors

Tabelle 3-3:Notationsschema für Messstellenbezeichnung

Bauteil		Messgröße	
K	Kopfrippe	**N**	Neigung
F	Fußrippe	**R**	Relativ
SX	Stiel Nr. X	**S**	Schub
BX	Beplankung Nr. X	**Messausrichtung**	
BX	Bekleidung Nr. X	**H**	Horizontal
A	Auflager A	**V**	Vertikal
B	Auflager B		

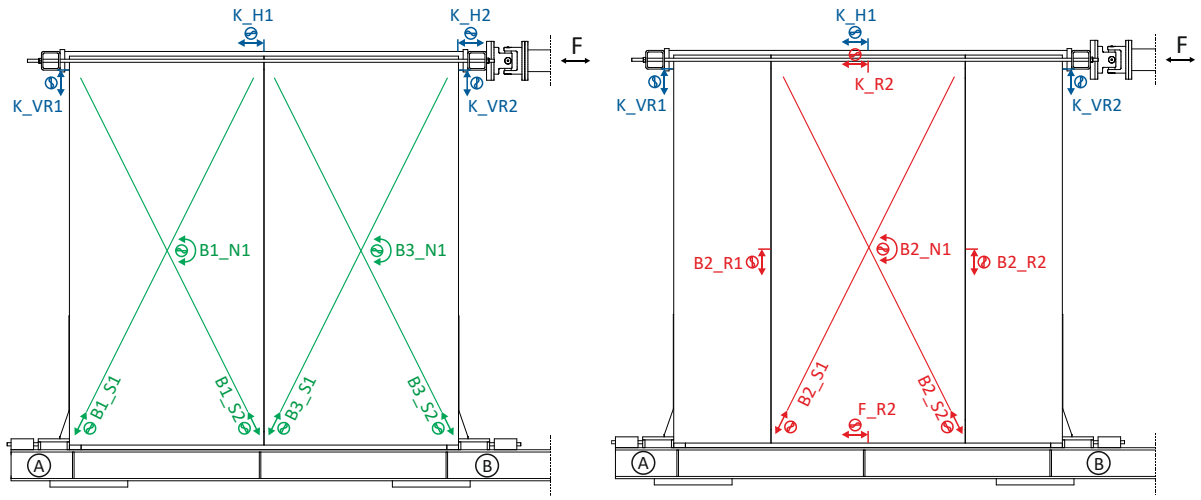


Abbildung 3-8: Übersicht über alle vorderseitig verwendeten Messeinheiten an Wandtafeln mit einseitiger Plattenanordnung: Referenztafeln und Wandtafeln mit zweifacher Bekleidung (links); Wandtafeln mit einfacher Bekleidung (rechts)

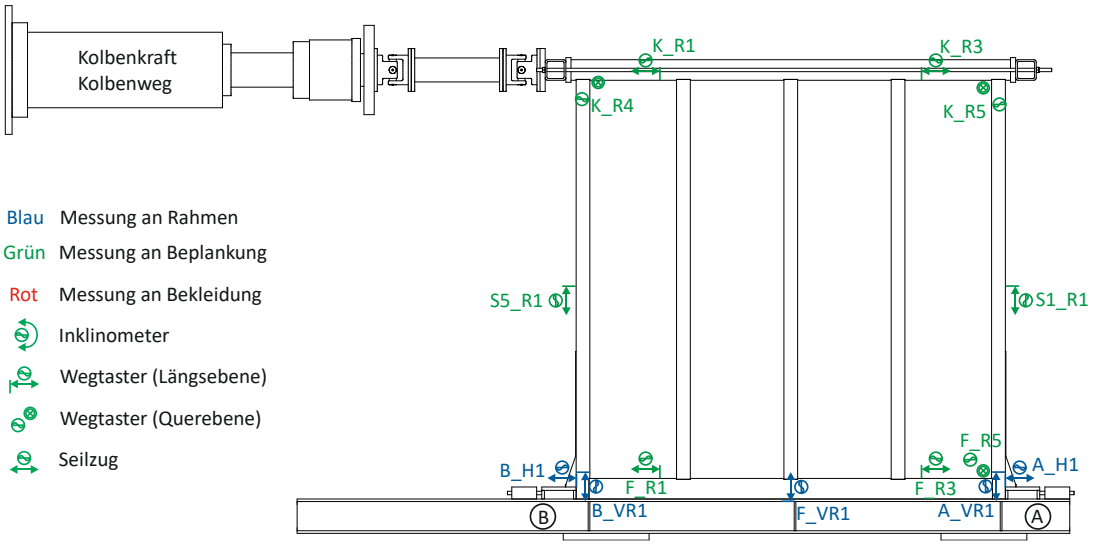


Abbildung 3-9: Übersicht über alle rückseitig verwendeten Messeinheiten an Wandtafeln mit einseitiger Plattenanordnung

3.4 Monotones Lastprotokoll

Die aufzubringende Horizontalkraft wurde in drei Zyklen schrittweise gesteigert. Diese Kraft wurde anhand der zuvor abgeschätzten maximalen Schubkraft $F_{max,est}$ skaliert und im dritten Zyklus der Tragfähigkeitsprüfung bis zum Versagen gesteigert. Das monotone Lastprotokoll wurde in Anlehnung an ISO 21581 [8] ausgearbeitet (siehe Abbildung 3-10).

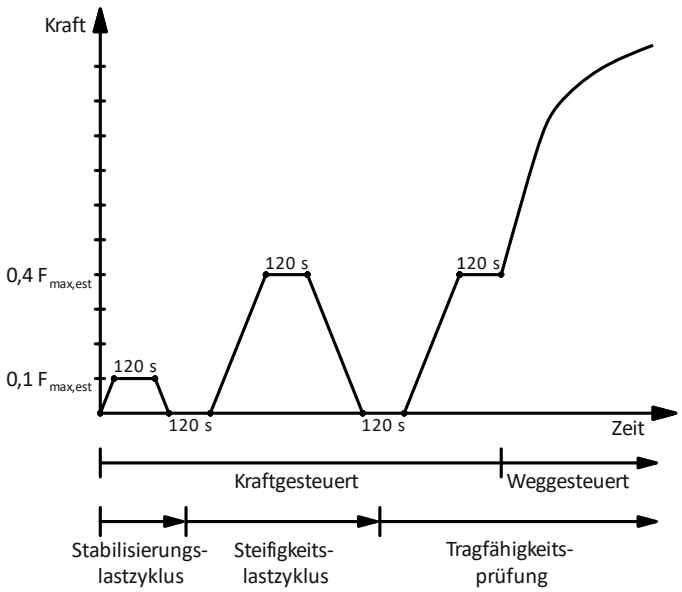
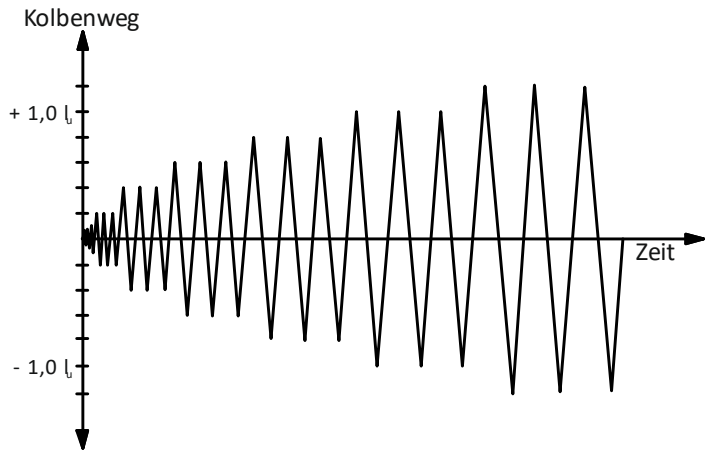


Abbildung 3-10: Angepasstes Lastprotokoll der monotonen Versuche nach ISO 21581 [8]

Die Lastumstellungszeit zwischen den Be- und Entlastungsstufen im Stabilisierungslastzyklus und im Steifigkeitslastzyklus betrug jeweils 10 Sekunden. Abweichend zur internationalen Standardnorm wurde die Krafthaltezeit einheitlich auf 120 Sekunden verkürzt. Die Belastungsgeschwindigkeit betrug im weggesteuerten Abschnitt 0,20 mm/min.

3.5 Zyklisches Lastprotokoll

Bei zyklischen Versuchen unterscheiden sich die induzierten Lastschritte hinsichtlich Zyklenzahl und Amplitude. Entsprechend der rechten Tabelle in Abbildung 3-11, wurden die Zyklusamplituden unter Berücksichtigung der mittleren Grenzverschiebung l_u der zuvor durchgeführten monotonen Versuche festgelegt. Die Belastungsgeschwindigkeit betrug für alle zyklischen Versuche 1 mm/s. Dabei wurde das Lastprotokoll der ISO 21581 [8] angewendet.



Schritt	Zyklenzahl	Amplitude
1	1	0,0125 l_u
2	1	0,025 l_u
3	1	0,050 l_u
4	1	0,075 l_u
5	1	0,1 l_u
6	3	0,2 l_u
7	3	0,4 l_u
8	3	0,6 l_u
9	3	0,8 l_u
10	3	1,0 l_u
10+n	3	(1,0 + 0,2 n) l_u

Abbildung 3-11: Weg-Zeit-Diagramm (links) und tabellarischer Belastungsverlauf (rechts) für zyklische Holztafelwandversuche nach ISO 21581 [8]

4 Datenauswertung

Folgend sind die Parameter definiert, die im Zuge der Auswertung des horizontalen Tragverhaltens betrachtet wurden:

- Tragfähigkeit
- Grenzverschiebung
- Anfangssteifigkeit
- Fließgrenze
- Duktilität
- Viskoses Dämpfungsmaß
- Festigkeitsminderung

Tragfähigkeit und Grenzverschiebung

Die ISO 21581 [8] liefert je nach Verformungsverhalten des Bauteils drei verschiedene Definitionen für die Tragfähigkeit und Grenzverschiebung. Bei plötzlich auftretendem Versagen der Wandtafel ist die Grenzverschiebung als Verschiebung zum Versagenszeitpunkt definiert (Verlauf a). Im Falle eines duktilen Wandtafelverhaltens mit einem verzögerten Versagen deutlich nach Erreichen des Kraftscheitelpunktes entspricht die Grenzverschiebung dem Wert, der

nach dem Überschreiten des Scheitelpunktes bei 80 % der betragsmäßig maximalen Last gemessen wird (Verlauf b). Die Tragfähigkeit entspricht in beiden beschriebenen Verläufen dem maximalen Betrag der aufgebrachten Belastung (Punkt 1). Im Falle einer Systemverfestigung ohne Versagen werden sowohl Tragfähigkeit als auch Grenzverschiebung bei einer gemessenen Wandtafelverschiebung in Höhe von einem Fünfzehntel der Wandtafelhöhe bestimmt (Verlauf c, Punkt 3).

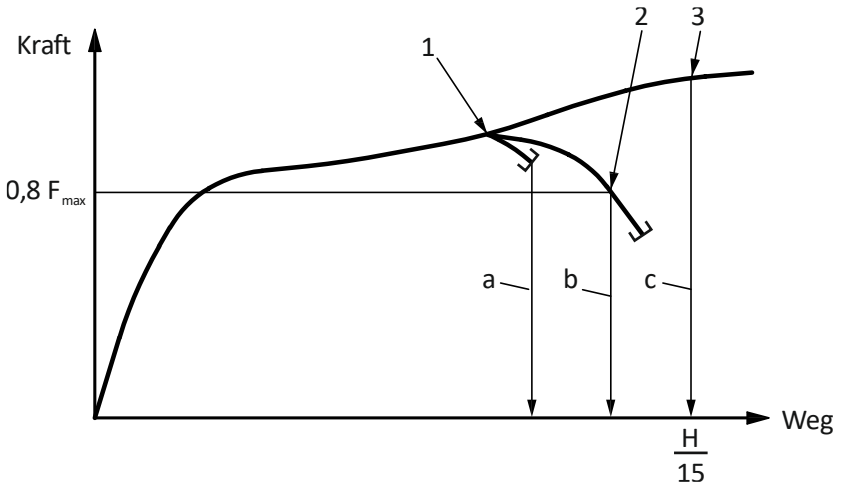


Abbildung 4-1: Definition der Tragfähigkeit und Grenzverschiebung [8]

Verformung und reine Schubverformung

Für die Auswertung der Verformungsgrößen bei Wandtafelversuchen gibt ISO 21581 [8] die Messung der horizontalen Wandtafelverschiebungen sowohl am Rähm als auch an der Schwelle vor. Die horizontale Gesamtverformung der Kopfrippe wurde in deren Mitte mit dem Seilzug *K_H1* bestimmt. Die horizontale Schwellenverschiebung sowie das vertikale Abheben und Eindrücken der Randstiele an den Zugverankerungen wurde mit Wegaufnehmern bestimmt – diese ergeben die Starrkörperverschiebung und Starrkörperverdrehung der Probekörper.

In der Auswertung wurden damit zwei Verformungen bestimmt: (i) die Gesamtverformung an der Kopfrippe über *K_H1* (bezeichnet als Ganztafelweg) und (ii) die reine Schubverformung u_{schub} der Wandtafeln. Die Schubverformung u_{schub} wurde über *K_H1* bestimmt und davon die Starrkörperverschiebung und Starrkörperverdrehung subtrahiert, siehe Gleichung (4.1). Die reine Schubverformung ist für den Vergleich der Probekörper untereinander sinnvoller, da die kraftabhängigen Starrkörperanteile entfallen. Die Verformungsgrößen und deren Verortung am Probekörper sowie deren Bezeichnung sind Abbildung 4-2 zu entnehmen.

$$u_{schub} = K_{H1} - u_{M1} - \frac{H}{L} \cdot (A_{VR1} - B_{VR1}) \tag{4.1}$$

mit: H Tafelhöhe
L Tafellänge
u_{M1} Mittlere Horizontalverformung aus A_H1 und B_H1

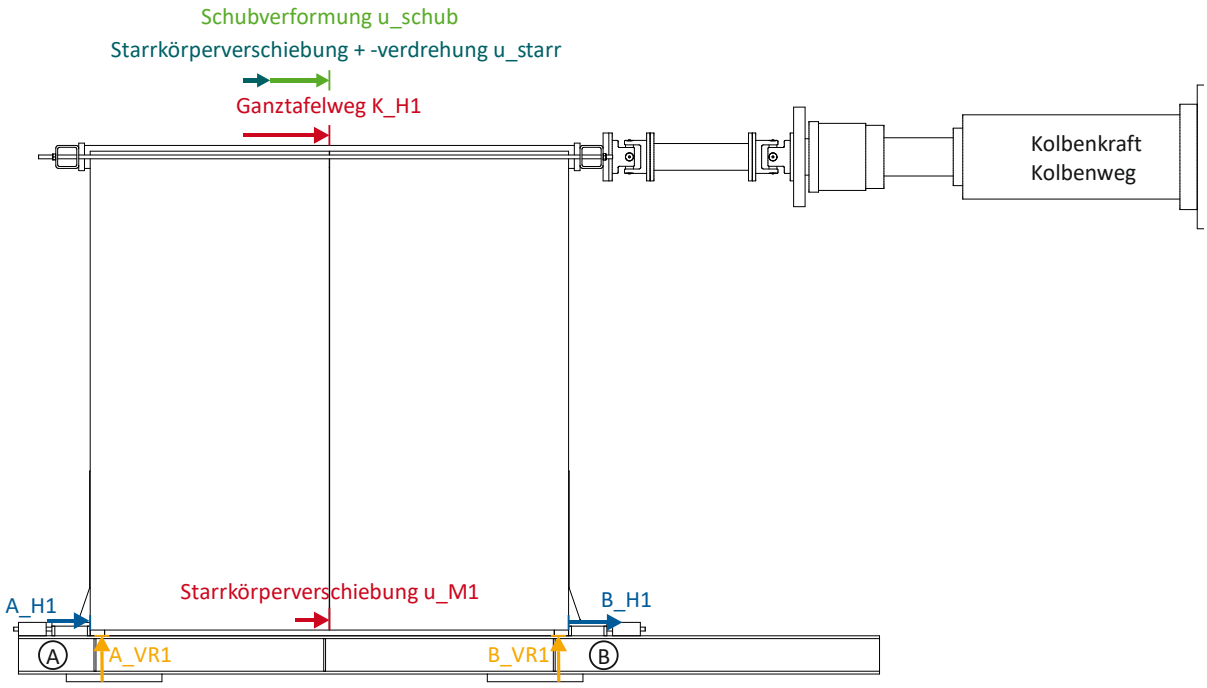


Abbildung 4-2: Definition der Schubverformung u_{schub}

Steifigkeit

Die Steifigkeit *K* wird im Last-Verformungsdiagramm aus der Steigung einer definierten Sekante berechnet. Zur Auswertung zyklischer Hystereseschleifen wird die Anfangssteifigkeit mithilfe der ersten Einhüllenden bestimmt.

$$K = \frac{0{,}3 \cdot F_{max}}{l_{0{,}4F_{max}} - l_{0{,}1F_{max}}} \tag{4.2}$$

mit:

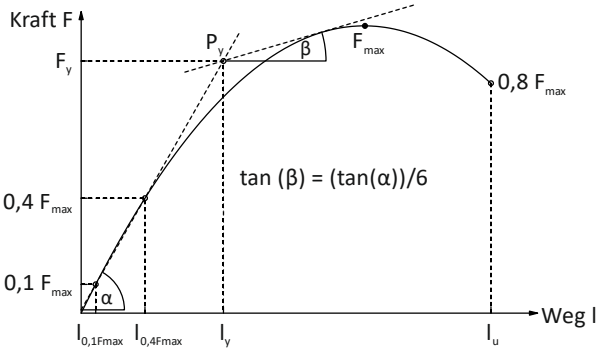
K	Anfangssteifigkeit
F_{max}	Experimentell ermittelte Tragfähigkeit
$l_{0{,}4F_{max}}$	Weg bei 40 % der experimentellen Tragfähigkeit
$l_{0{,}1F_{max}}$	Weg bei 10 % der experimentellen Tragfähigkeit

Fließgrenze

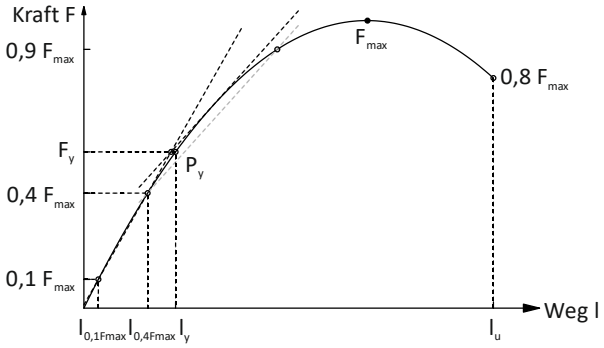
Da die Fließgrenze l_y international nicht eindeutig festgelegt ist und die Definitionen zu signifikanten Werteunterschieden der Fließgrenzen führt, wird die Fließgrenze aufgrund der Grundlage von drei festgelegten Definitionen ermittelt:

- Definition nach DIN EN 12512 [9]
- Definition nach Yasumura et al. 1998 [10]
- Definition nach Kobayashi et al. 2011 [11]

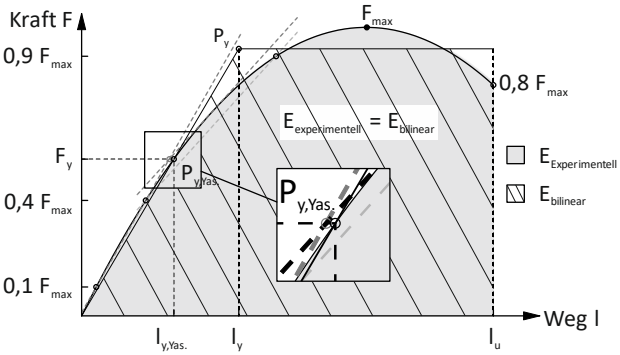
Diese Definitionen wurden auch im Projekt Optimberquake [12] herangezogen und die Ergebnisse können somit verglichen werden.



DIN EN 12512 [9]



Yasumura et al. 1998 [10]



Kobayashi et al. 2011 [11]

Abbildung 4-3: Ausgewählte Definitionen der Fließgrenze

Duktilität

Die Duktilität *D* ergibt sich aus dem Verhältnis von Grenzverschiebung l_u zur Fließgrenze l_y.

$$D = \frac{l_u}{l_y} \tag{4.3}$$

mit: D Duktilität
l_u Grenzverschiebung
l_y Fließgrenze

Viskoses Dämpfungsmaß

Das viskose Dämpfungsmaß ν_{eq} kann nach DIN EN 12512 [9] mithilfe der Gleichung (4.4) aus dem Verhältnis der dissipierten Energie zur potenziellen Energie berechnet werden (siehe Abbildung 4-4).

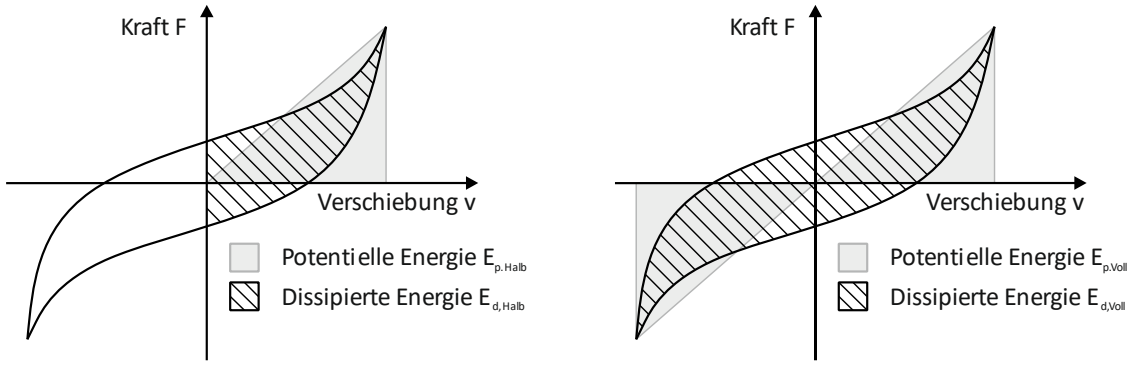


Abbildung 4-4: Definition des viskosen Dämpfungsmaßes nach DIN EN 12512 [9] (links) sowie nach Bachmann et al. 1997 [13] und Chopra 2000 [14] (rechts)

$$\nu_{eq} = \frac{E_{d,Halb}}{2\pi \cdot E_{p,Halb}} \tag{4.4}$$

mit: ν_{eq} Viskoses Dämpfungsmaß

$E_{d,Halb}$ Dissipierte Energie je Halbzyklus

$E_{p,Halb}$ Potenzielle Energie je Halbzyklus

Als Alternative zur Definition nach DIN EN 12512 [9] mit der Berechnung des viskosen Dämpfungsmaßes über die Energie der Halbzyklen wird in Bachmann et al. 1997 [13] und Chopra 2000 [14] die Betrachtung der Gesamtzyklen vorgeschlagen, siehe Gleichung (4.5). Beide Berechnungsarten wurden verwendet.

$$\nu_{eq} = \frac{E_{d,Voll}}{2\pi \cdot E_{p,Voll}} \tag{4.5}$$

mit: ν_{eq} Viskoses Dämpfungsmaß

$E_{d,Voll}$ Dissipierte Energie je Gesamtzyklus

$E_{p,Voll}$ Potenzielle Energie je Gesamtzyklus

Festigkeitsminderung

Die Festigkeitsminderung *ΔF* entspricht der Differenz zwischen den betragsmäßig maximalen Lasten des ersten und dritten Zyklus eines 3er-Zyklen-Kollektivs. Die Festigkeitsminderung wird schematisch in Abbildung 4-5 gezeigt und mathematisch durch die Gleichung (4.6) beschrieben.

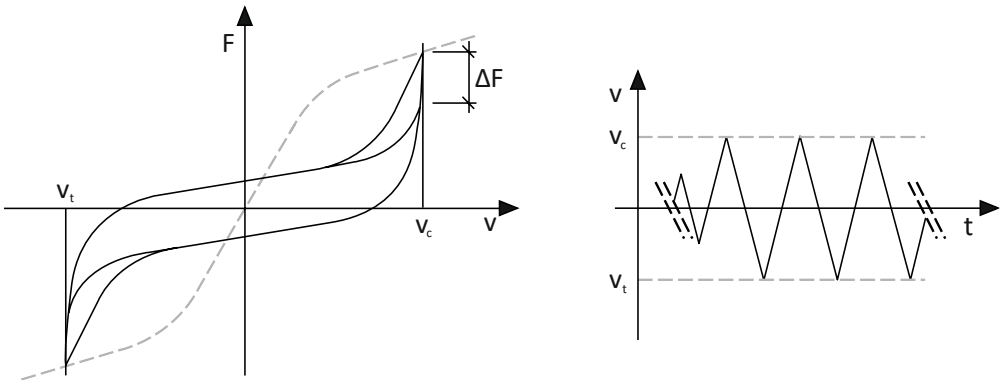


Abbildung 4-5: Definition der Festigkeitsminderung nach [15]

$$\Delta F = F_{max,Z1} - F_{max,Z3} \tag{4.6}$$

mit: ΔF Festigkeitsminderung

$F_{max,Z1}$ Betragsmäßige Maximallast in erstem Zyklus

$F_{max,Z3}$ Betragsmäßige Maximallast in drittem Zyklus

q-Faktor

Der Verhaltensbeiwert bzw. *q*-Faktor kann mit Gleichung (4.7) aus der im Bauteilversuch bestimmten Duktilität berechnet werden [16]. Er wird nachfolgend für die Fließgrenze nach DIN EN 12512 [9] berechnet.

$$q = \sqrt{2D - 1} \tag{4.7}$$

mit: q *q*-Faktor

D Duktilität

5 Ergebnisse

5.1 Monotone Belastung

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse aus der monotonen Belastung zu:

- Tragfähigkeit F_{max}
- Grenzverschiebung l_u
- Anfangssteifigkeit K
- Fließgrenze l_y
- Duktilität D
- q-Faktor

Im Anhang befinden sich die Versuchsprotokolle und Einzelauswertungen je Probekörper.

Tabelle 5-1: Ergebnisvergleich der monoton belasteten Wandtafeln auf Basis des Ganztafelwegs

Wandtafel	Tragf.	Grenzv.	Steifig.	DIN EN 12512			Yasumura		Kobayashi	
	F_{max} [kN]	l_u [mm]	K [kN/mm]	$l_{y,DIN}$ [mm]	D_{DIN} [-]	q [-]	$l_{y,Yas}$ [mm]	D_{Yas} [-]	$l_{y,Kob}$ [mm]	D_{Kob} [-]
01_m_1	47,0	66,9	2,34	18,8	3,56	2,47	17,8	3,77	25,2	2,66
01_m_2	46,3	86,4	2,20	12,7	6,79	3,55	11,9	7,27	20,8	4,16
02_oA_m_1	48,6	80,4	2,55	13,9	5,81	3,26	10,8	7,42	20,0	4,02
03_m_1[1]	54,3	30,5	2,30	18,4	1,66	1,52	11,9	2,55	20,0	1,53
03_m_2	41,8	27,8	4,58	6,75	4,12	2,69	5,23	5,32	8,44	3,30
04_m_1	62,2	43,0	3,78	10,2	4,21	2,72	6,88	6,25	13,3	3,24
05_m_1[2]	94,3	56,5	5,21	20,4	2,78	2,14	18,6	3,04	22,3	2,53
05_m_2	96,8	60,1	5,30	12,2	4,92	2,97	10,6	5,66	18,2	3,30
06_m_1	86,8	39,1	6,21	11,2	3,49	2,45	8,69	4,49	14,5	2,70
07_m_1	109	54,4	5,78	12,1	4,50	2,83	9,11	5,97	16,9	3,22
08_m_1	96,2	30,1	6,49	11,1	2,71	2,10	7,65	3,94	13,3	2,26
08_m_2[1]	90,7	31,2	4,59	15,5	2,01	1,74	10,4	3,00	16,8	1,86
09_m_1	97,3	53,7	5,78	10,9	4,91	2,97	8,66	6,20	15,4	3,48
10_m_1	65,2	49,5	5,66	8,89	5,56	3,18	6,50	7,61	11,4	4,35

Hinweise zu Unregelmäßigkeiten

[1] Stahlschrauben der Vertikalverankerung an Auflager A nicht fest angezogen

[2] Klammerung der Bekleidung an der Schwelle ohne Versatz zu Beplankungs-Klammern

Tabelle 5-2: Ergebnisvergleich der monoton belasteten Wandtafeln auf Basis der Schubverformung

Wandtafel	Tragf.	Grenzv.	Steifig.	DIN EN 12512			Yasumura		Kobayashi	
	F_{max} [kN]	l_u [mm]	K [kN/mm]	$l_{y,DIN}$ [mm]	D_{DIN} [-]	q [-]	$l_{y,Yas}$ [mm]	D_{Yas} [-]	$l_{y,Kob}$ [mm]	D_{Kob} [-]
01_m_1	47,0	66,5	2,34	18,7	3,55	2,47	17,7	3,76	25,0	2,66
01_m_2	46,3	85,4	2,21	12,6	6,77	3,54	11,9	7,19	20,7	4,13
02_oA_m_1	48,6	79,9	2,60	13,6	5,87	3,28	10,8	7,43	19,8	4,03
03_m_1[1]	54,3	24,4	4,40	8,69	2,81	2,15	5,80	4,21	10,5	2,32
03_m_2	41,8	27,1	4,74	6,58	4,12	2,69	5,37	5,05	8,32	3,26
04_m_1	62,2	41,7	3,83	10,3	4,06	2,67	6,94	6,02	13,2	3,17
05_m_1[2]	94,3	53,6	5,72	18,7	2,87	2,18	18,3	2,94	21,1	2,54
05_m_2	96,8	57,3	6,56	10,2	5,62	3,20	9,19	6,23	15,6	3,67
06_m_1	86,8	38,2	6,20	11,6	3,29	2,36	8,81	4,34	14,5	2,64
07_m_1	109	52,4	5,84	12,3	4,26	2,74	8,94	5,87	16,6	3,16
08_m_1	96,2	28,3	6,63	11,2	2,53	2,01	7,52	3,77	13,0	2,17
08_m_2[1]	90,7	28,5	5,79	12,3	2,31	1,90	8,35	3,41	13,8	2,06
09_m_1	97,3	51,9	6,31	10,0	5,17	3,06	7,70	6,74	14,0	3,70
10_m_1	65,2	48,9	5,60	9,14	5,35	3,11	6,62	7,40	11,4	4,30

Hinweise zu Unregelmäßigkeiten

[1] Stahlschrauben der Vertikalverankerung an Auflager A nicht fest angezogen

[2] Klammerung der Bekleidung an der Schwelle ohne Versatz zu Beplankungs-Klammern

5.2 Zyklischen Versuche

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der zyklischen Versuche zu:

- Tragfähigkeit $F_{max/min}$
- Grenzverschiebung l_u
- Anfangssteifigkeit K
- Fließgrenze l_y
- Duktilität D
- q-Faktor

Tabelle 5-3: Vergleich der Ergebnisse der zyklisch belasteten Wandtafeln in Halbzyklus 1 (Zug: +) und Halbzyklus 2 (Druck: -) auf Basis des Ganztafelwegs

Wandtafel	Tragf.	Grenzv.	Steifigk.	DIN EN 12512			Yasumura		Kobayashi	
	$F_{max/min}$	l_u	K	$l_{y,DIN}$	D_{DIN}	q	$l_{y,Yas}$	D_{Yas}	$l_{y,Kob}$	D_{Kob}
	[kN]	[mm]	[kN/mm]	[mm]	[-]	[-]	[mm]	[-]	[mm]	[-]
01_c_1 (+)	51,3	67,3	2,80	13,8	4,88	2,96	10,9	6,18	18,3	3,68
01_c_1 (-)	-39,5	-62,1	2,32	-12,3	5,06	3,02	-8,70	7,14	-15,8	3,93
02_oA_c_1 (+)	45,7	65,8	2,14	12,3	3,86	2,59	13,0	5,05	21,4	3,08
02_oA_c_1 (-)	-44,0	-64,8	2,59	-11,1	5,82	3,26	-8,34	7,77	-14,9	4,35
03_c_1 (+)	59,5	23,2	5,36	9,69	2,40	1,95	6,09	3,81	9,91	2,34
03_c_1 (-)	-44,4	-21,0	4,68	-8,06	2,61	2,05	-4,81	4,38	-8,50	2,47
04_c_1 (+)	65,4	32,5	4,20	13,7	2,38	1,94	8,94	3,64	13,9	2,33
04_c_1 (-)	-51,0	-27,9	4,03	-10,8	2,59	2,04	-6,97	4,01	-11,1	2,51
05_c_1 (+)	99,0	57,5	5,01	15,8	3,65	2,51	11,0	5,23	17,8	3,24
05_c_1 (-)	-87,1	-62,3	5,24	-12,5	4,98	2,99	-8,46	7,37	-14,9	4,18
06_c_1 (+)	90,0	50,3	6,71	9,86	5,10	3,03	7,03	7,15	12,6	3,99
06_c_1 (-)	-80,4	-47,9	5,14	-12,4	3,85	2,59	-8,15	5,88	-14,4	3,33
07_c_1 (+)	110	49,3	6,63	12,6	3,93	2,62	8,90	5,53	15,5	3,18
07_c_1 (-)	-102	-49,8	6,98	-10,3	4,84	2,95	-8,01	6,21	-13,8	3,61
08_c_1 (+)	89,7	31,8	7,15	9,80	3,25	2,35	6,69	4,75	11,6	2,73
08_c_1 (-)	-81,3	-28,1	6,85	-10,3	2,73	2,11	-6,53	4,31	-11,5	2,44
09_c_1 (+)	108	48,7	6,72	12,4	3,93	2,62	8,71	5,60	14,9	3,28
09_c_1 (-)	-96,4	-47,7	6,05	-11,4	4,19	2,72	-7,86	6,07	-13,8	3,45
10_c_1 (+)	66,3	41,6	5,26	10,2	4,09	2,68	6,92	6,01	11,5	3,60
10_c_1 (-)	-55,2	-40,1	4,46	-9,58	4,19	2,72	-6,11	6,57	-11,0	3,66

Tabelle 5-4: Vergleich der Ergebnisse der zyklisch belasteten Wandtafeln in Halbzyklus 1 (Zug: +) und Halbzyklus 2 (Druck: -) auf Basis der Schubverformung

Wandtafel	Tragf.	Grenzv.	Steifigk.	DIN EN 12512			Yasumura		Kobayashi	
	$F_{max/min}$ [kN]	l_u [mm]	K [kN/mm]	$l_{y,DIN}$ [mm]	D_{DIN} [-]	q [-]	$l_{y,Yas}$ [mm]	D_{Yas} [-]	$l_{y,Kob}$ [mm]	D_{Kob} [-]
01_c_1 (+)	51,3	63,9	2,80	13,8	4,63	2,87	11,2	5,70	18,6	3,44
01_c_1 (-)	-39,5	-63,9	2,23	-11,9	5,38	3,12	-8,23	7,76	-15,3	4,17
02_oA_c_1 (+)	45,7	64,6	2,17	17,0	3,81	2,57	13,3	4,88	21,6	2,99
02_oA_c_1 (-)	-44,0	-65,8	2,58	-11,2	5,86	3,27	-8,39	7,84	-15,0	4,39
03_c_1 (+)	59,5	22,5	5,37	9,69	2,32	1,91	5,81	3,87	9,76	2,31
03_c_1 (-)	-44,5	-20,6	4,87	-7,80	2,64	2,07	-4,46	4,61	-8,31	2,48
04_c_1 (+)	65,4	30,7	5,21	10,7	2,86	2,17	6,93	4,43	11,5	2,67
04_c_1 (-)	-51,0	-27,6	4,18	-10,5	2,64	2,07	-6,87	4,02	-10,9	2,55
05_c_1 (+)	99,0	54,4	6,19	12,3	4,43	2,80	9,47	5,75	14,7	3,70
05_c_1 (-)	-87,1	-59,4	6,02	-10,7	5,57	3,18	-7,70	7,72	-13,2	4,50
06_c_1 (+)	90,0	48,9	7,54	8,69	5,62	3,20	6,70	7,29	11,7	4,17
06_c_1 (-)	-80,4	-45,7	5,93	-10,7	4,26	2,74	-7,33	6,23	-12,6	3,63
07_c_1 (+)	110	44,6	6,91	12,4	3,60	2,49	8,70	5,12	14,9	2,99
07_c_1 (-)	-102	-47,8	6,89	-11,0	4,35	2,77	-8,03	5,95	-14,0	3,42
08_c_1 (+)	89,7	29,2	7,71	9,33	3,12	2,29	6,05	4,82	10,6	2,75
08_c_1 (-)	-81,3	-27,2	7,01	-10,2	2,68	2,09	-6,29	4,33	-81,3	-27,2
09_c_1 (+)	108	47,0	6,85	13,4	3,51	2,45	9,85	4,77	14,7	3,20
09_c_1 (-)	-96,4	-46,3	6,33	-11,3	4,09	2,68	-8,06	5,75	-96,4	-46,3
10_c_1 (+)	66,3	38,1	6,06	9,22	4,13	2,69	6,18	6,16	9,89	3,85
10_c_1 (-)	-55,2	-39,8	4,34	-9,79	4,07	2,67	-5,84	6,82	-55,2	-39,8

5.3 Versagensmechanismen

Im Rahmen der Versuche wurden zwei Versagensmechanismen bei Erreichen der Traglast F_{max} beobachtet:

1. Versagen der Klammern (KV)
2. Versagen der GFB-Beplankung (BV)

Das Klammerversagen trat vornehmlich auf, das Beplankungsversagen wurde bei einigen GFB-beplankten Probekörpern beobachtet. In manchen Fällen trat das Beplankungsversagen auch nachträglich nach überschreiten von F_{max} als sekundärer Versagensmechanismus auf.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die auftretenden Versagensformen meist erst nach der Versuchsdurchführung festgestellt und detailliert betrachtet werden konnten. Aus diesem Grund müssen die abgelaufenen Versagensmechanismen nachträglich mithilfe der vorhandenen Fotos möglichst genau rekonstruiert werden. Infolge des begrenzten Bildmaterials und

fehlender Kameraperspektiven können Ungenauigkeiten bei der Rekonstruktion des Versagens nicht vollständig ausgeschlossen werden. Dennoch gibt die Gesamtheit der Ergebnisse einen Überblick über die aufgetretenen Versagensmechanismen.

In Abbildung 5-1 sind Beispiele der Versagensbilder gezeigt. Wie in Abbildung 5-1 (b) und (c) zu sehen, unterschied sich die Anzahl der festgestellten Fließgelenke der Klammern von Beplankung und Bekleidung. Während an den Verbindungsmitteln der Bekleidung i. d. R. zwei Fließgelenke je Klammerschaft auftraten, entstanden an den Klammern zur Befestigung der Beplankungslage ein oder zwei Fließgelenke je Klammerschaft. Verbindungsmittelversagen trat ausschließlich in der Fuge zwischen Rahmen und Beplankung auf – auch bei den VM der Bekleidung. Nach der Bildung der Fließgelenke, waren meist das Durchziehen der Beplankungsklammern durch die Beplankung oder das Herausziehen der Bekleidungsklammern aus dem Rahmenholz sekundäre Versagensformen. In zyklischen Versuchen trat zudem Ermüdungsversagen der Klammern auf.

An den Probekörpern mit Beplankungsversagen traten die maßgebenden Risse in der GFB-Beplankung entweder orthogonal zu den Zugdiagonalen oder entlang der Fußrippe am zugbelasteten Auflager auf. Zusätzliche und oftmals vor Versagen entstandene Risse in den Ecken der Beplankung und Bekleidung führten voraussichtlich nicht zum Globalversagen und zeigten keinen Einfluss auf die Last-Verformungskurven.

Die Versagensmechanismen bei F_{max} sind in Tabelle 5-5 gegeben. Die genaue Position und Art der aufgetretenen Versagensmechanismen ist im Anhang für jeden Versuch dargestellt.



(a) (b) (c)

Abbildung 5-1: Beispielhafte Versagensmechanismen: (a) Beplankungsversagen an Auflager A bei 08_m_2 sowie Klammerversagen bei 08_m_1 (b) und 02_m_1 (c)

Tabelle 5-5: Dokumentierte Versagensmechanismen je Probekörper

Wandtafel	Beplankung	Bekleidung	Versagensmechanismus bei F_{max}
01_m_1	1× OSB 15	-	KV
01_m_2			KV
01_c_1			KV
02_oA_m_1	1× OSB 15	-	KV
02_c_1			KV
03_m_1	1× GFB 12,5	-	KV[1]
03_m_2			BV
03_c_1			BV
04_m_1	1× GFB 18	-	KV[1]
04_c_1			KV
05_m_1	1× OSB 15	1× GFB 12,5	KV
05_m_2			KV
05_c_1			KV
06_m_1	1× OSB 15	1× GFB 18	KV
06_c_1			KV
07_m_1	1× OSB 15	2× GFB 18	KV
07_c_1			KV
08_m_1	1× GFB 12,5	1× GFB 12,5	BV
08_m_2			BV
08_c_1			KV[1]
09_m_1	1× GFB 18	1× GFB 18	BV
09_c_1			KV
10_m_1	1× GFB 18	1× GFB 18	BV
10_c_1			KV

Legende:
KV – Versagen der Klammern
BV – Versagen der Beplankung (Rissbildung)
[1] BV erst nach Überschreiten von F_{max}

6 Literatur

[1] DIN 52 182: DIN 52182 - Prüfung von Holz. Norm, Ausgabe September 1976.

[2] DIN EN 13183-2: Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz Teil 2: Schätzung durch elektrisches Widerstands-Messverfahren. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 2002.

[3] DOP-734-03: Leistungserklärung. Egger Holzwerkstoffe Wismar GmbH & Co. KG, Ausgabe Mai 2023.

[4] ETA-03/0050: fermacell® Gipsfaser-Platten. Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Ausgabe Mai 2022.

[5] ETA-16/0535: Haubold-Klammern d = 1,53 - 1,80 - 2,00 mm als Verbindungsmittel im Holzbau für lange oder ständige Belastung auf Herausziehen. Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Ausgabe Dezember 2020.

[6] *Dujic, B.; Aicher, S.; Zarnič, R.:* Investigations on in-plane loaded wooden elements - Influence of loading and boundary conditions. *In:* Otto-Graf-Journal (2005), Heft 16, S. 259-272.

[7] ETA-07/0285: European Technical Assessment ETA-07/0285 - Simpson Strong-Tie Hold Downs & Post Bases. ETA-Danmark A/S, Ausgabe Dezember 2021.

[8] ISO 21581:2010-06. Ausgabe Juni 2010.

[9] DIN EN 12512: Holzbauwerke - Prüfverfahren - Zyklische Prüfungen von Anschlüssen mit mechanischen Verbindungsmitteln: Deutsche Fassung EN 12512:2001 + A1:2005. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.,

[10] *Yasumura, M.; Kawai, N.:* Estimating seismic performance of wood-framed structures – Processings of 1998 I.W.E.C. Vol.2, Universität Kassel, 2013.

[11] *Kobayashi, K.; Yasumura, M.:* Evalutation of plywood sheated shear walls with screwed joints tested according to ISO 21581 – Processings of CIB-W18 meeting (2011).

[12] *Seim, W.; Vogt, T.:* OptimberQuake - Deliverable 2B – Timber framed wall elements – monotonic and cyclic testing. Universität Kassel, Kassel Ausgabe Dezember 2013.

[13] *Bachmann, H.; Mahrenholtz, O.:* Vibrations Problems in Structures. Institut für Baustatik und Baukonstruktion ETH Hönggerberg. Birkhäuser Verlag, Basel, 1997.

[14] *Chopra, A.K.:* Dynamics of Structures. Prentice Hall, Jersey, 2000.

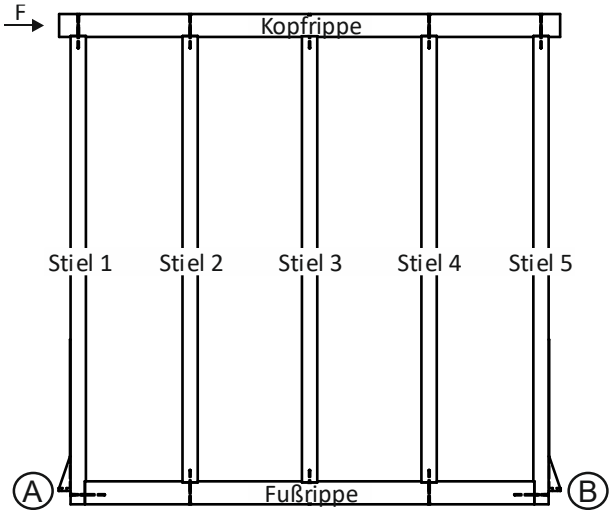
[15] *Blaß, H.J.; Schädle, P.:* Aussteifende Wandscheiben in Einzelelement-Bauweise. Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau Heft 13, Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe, 2009.

[16] *Seim, W.; Hummel, J.; VOgt, T.:* OptimberQuake - Deliverable 2C - Anchoring units - monotonic and cyclic testing – Universität Kassel, 2013.

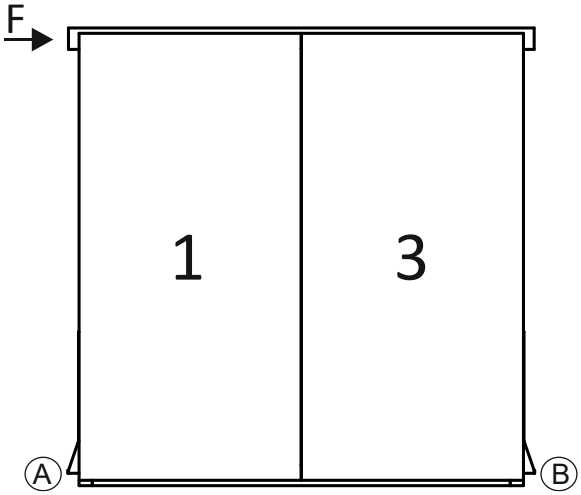
A Bauteildefinition

Im Rahmen dieser Untersuchungen werden die Bauteilkomponenten der Wandtafeln entsprechend der Abbildung A-1 benannt.

Rahmenkonstruktion:



Beplankungslage / 2. Bekleidungslage:



1. Bekleidungslage:

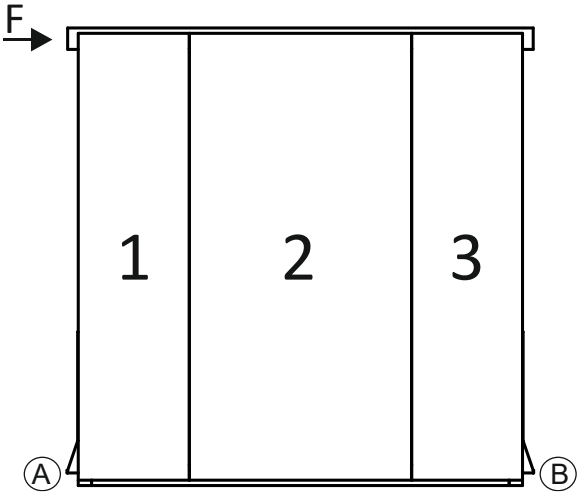


Abbildung A-1: Definition der Bauteilkomponenten des Rahmens (oben) sowie der Beplankungs- und Bekleidungsplatten (unten)

B Untersuchungsprotokolle

B.1 Wandtafel 01_m_1

Tabelle B-1: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 01_m_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	OSB/3, t = 15 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	Keine	
Bekleidung 2:	Keine	

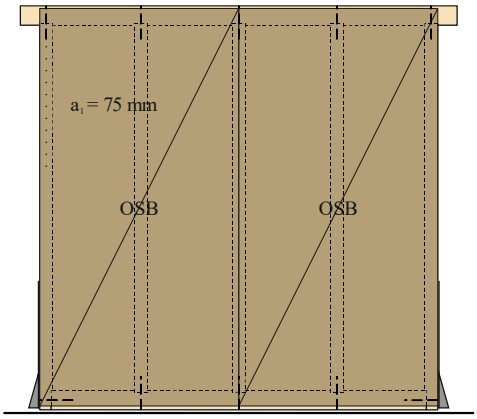


Abbildung B-1: Wandtafel 01_m_1

Untersuchung		
Datum	30.05.2023	
Raumtemperatur T	K.A.	
Raumfeuchte R_H	K.A.	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 448 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 396 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 390 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 410 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	13,8 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	47,0 kN	(Klammerversagen maßgebend)

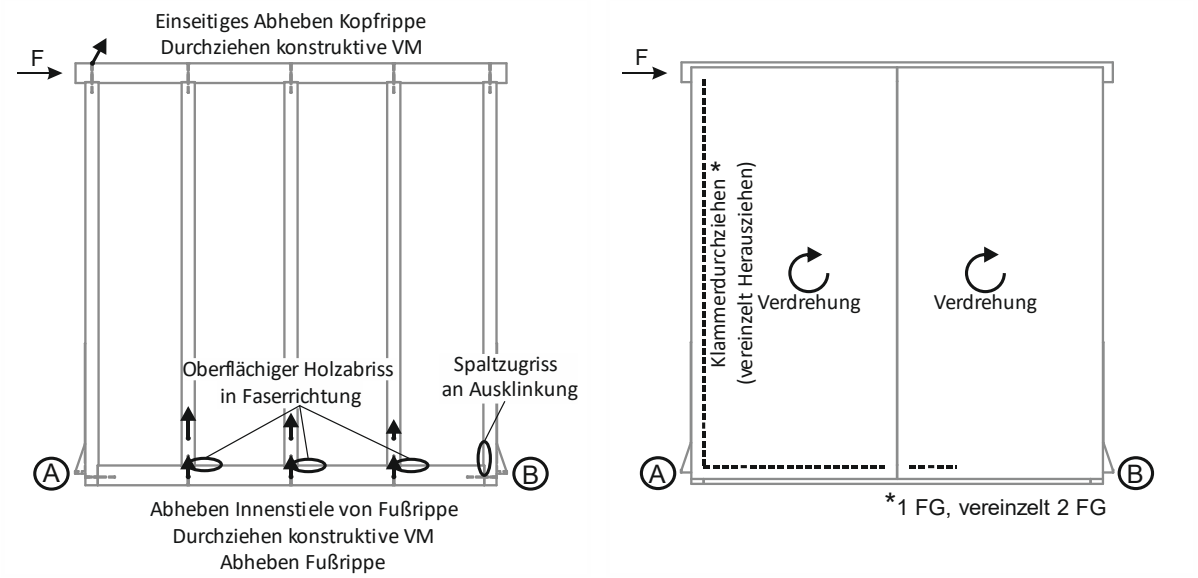
Anmerkungen

Abweichung ISO 21581:
- Überschätzung der Tragfähigkeit: Vorbelastung mit 0,54 F_{max} statt 0,40 F_{max}
- Grenzverschiebung l_u circa 4,2 Minuten nach Ende der Vorbelastung erreicht

Während Versuch:
- Beulen der Beplankung 1 am Außenrand auf der Höhe der Wandtafelmitte
- Versuchsabbruch nach Zurückschnellen von Stiel 1

Auswertung:
- A_VR1 und B_VR1 wurde für die Berechnung von u_{schub} nicht berücksichtigt

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



(a) **(b)**

Abbildung B-2: Versagensbilder Rahmen (a) und Beplankung (b); WT 01_m_1



(a) **(b)** **(c)**



(d) **(e)** **(f)** **(g)**

Abbildung B-3: Versagensbild Vorderseite (a), Zurückschnellen Stiel 1 (b), Versagensbild Rückseite (c), Durchziehen konstruktive Schrauben und Abheben Kopfrippe (d), Ablösen Beplankung (e), Durchziehen Klammer an Stiel 1 (f), Abheben Fußrippe (g); WT 01_m_1

Untersuchungsergebnisse

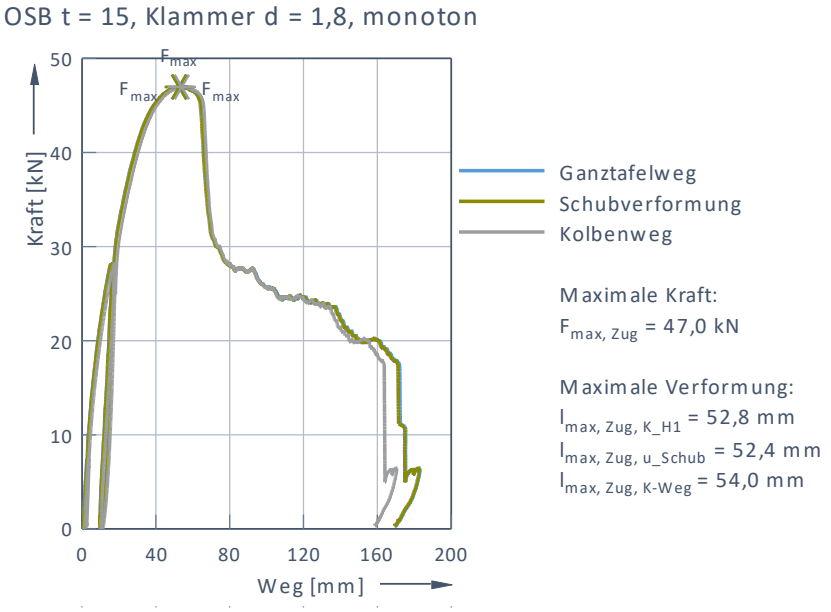


Abbildung B-4: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 01_m_1

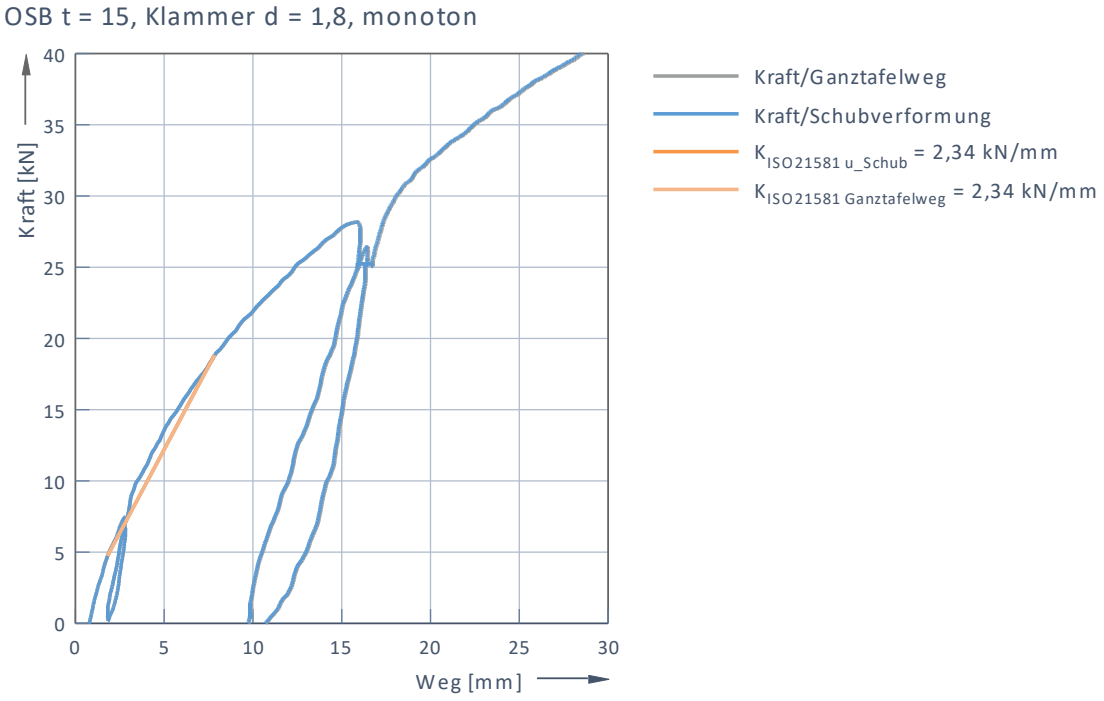


Abbildung B-5: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 01_m_1

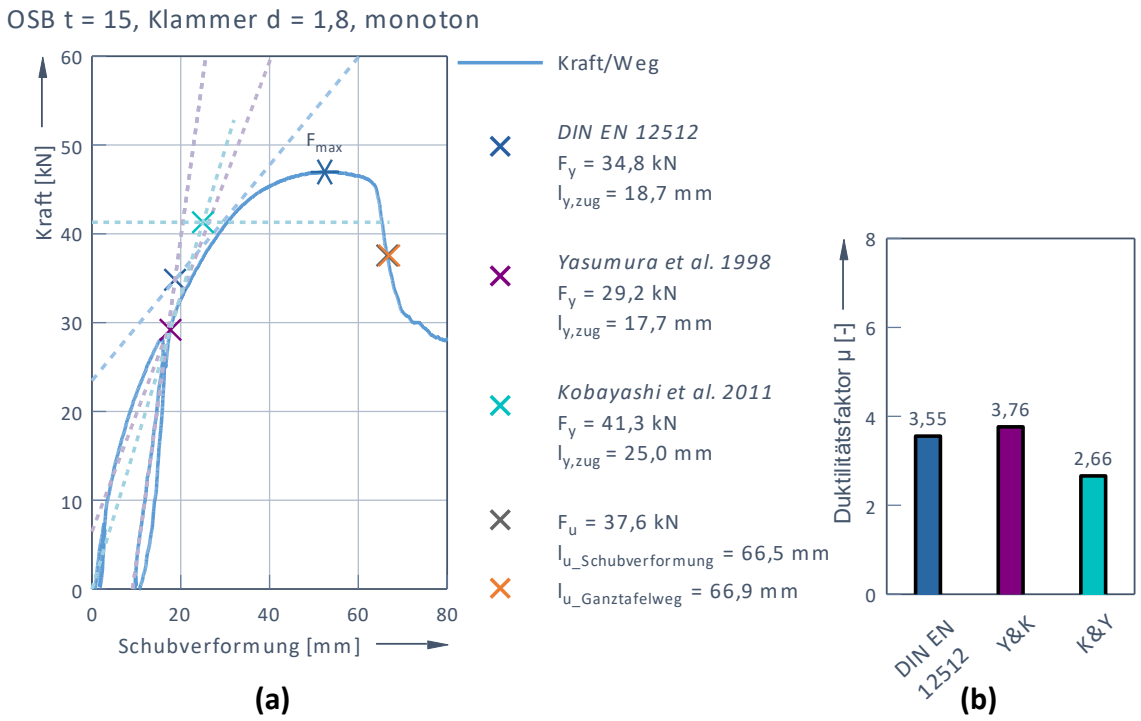


Abbildung B-6: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 01_m_1

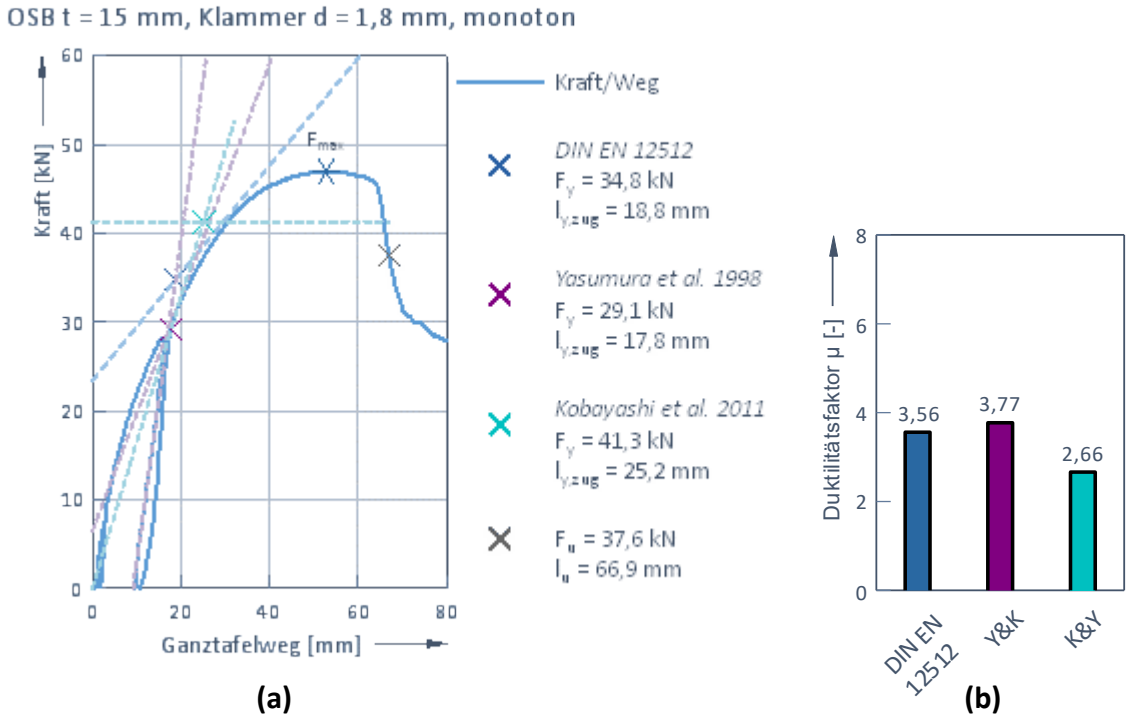


Abbildung B-7: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 01_m_1

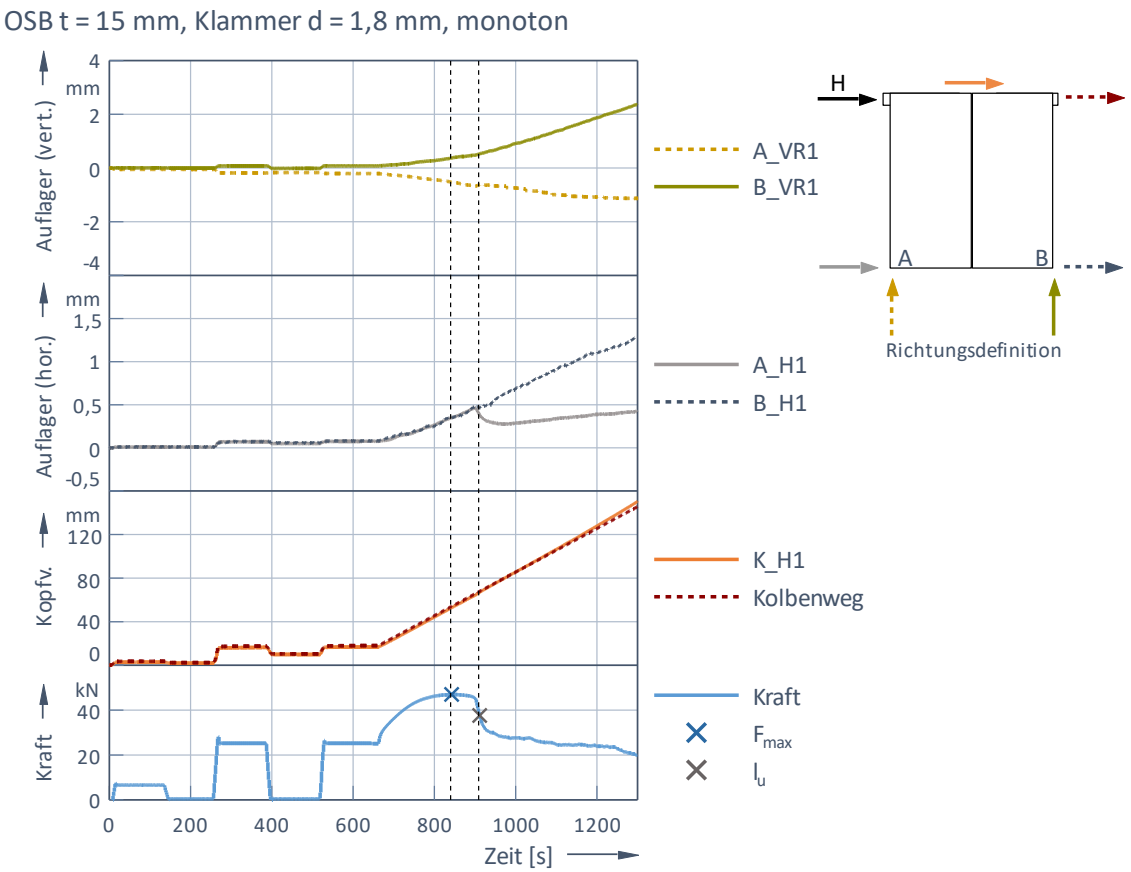


Abbildung B-8: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 01_m_1

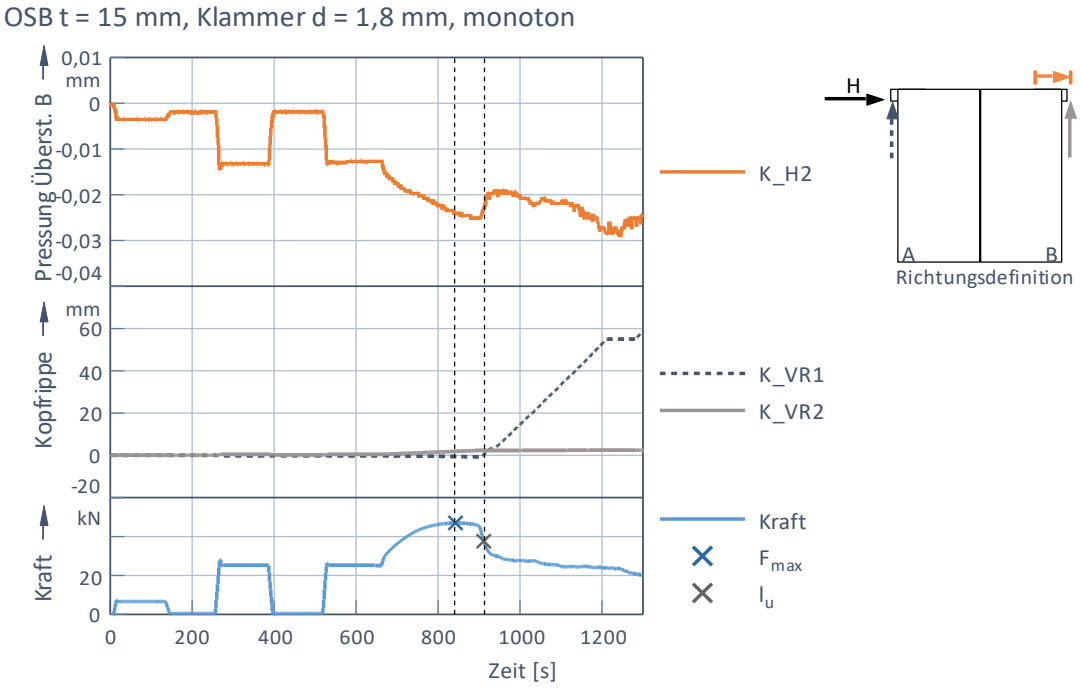


Abbildung B-9: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 01_m_1

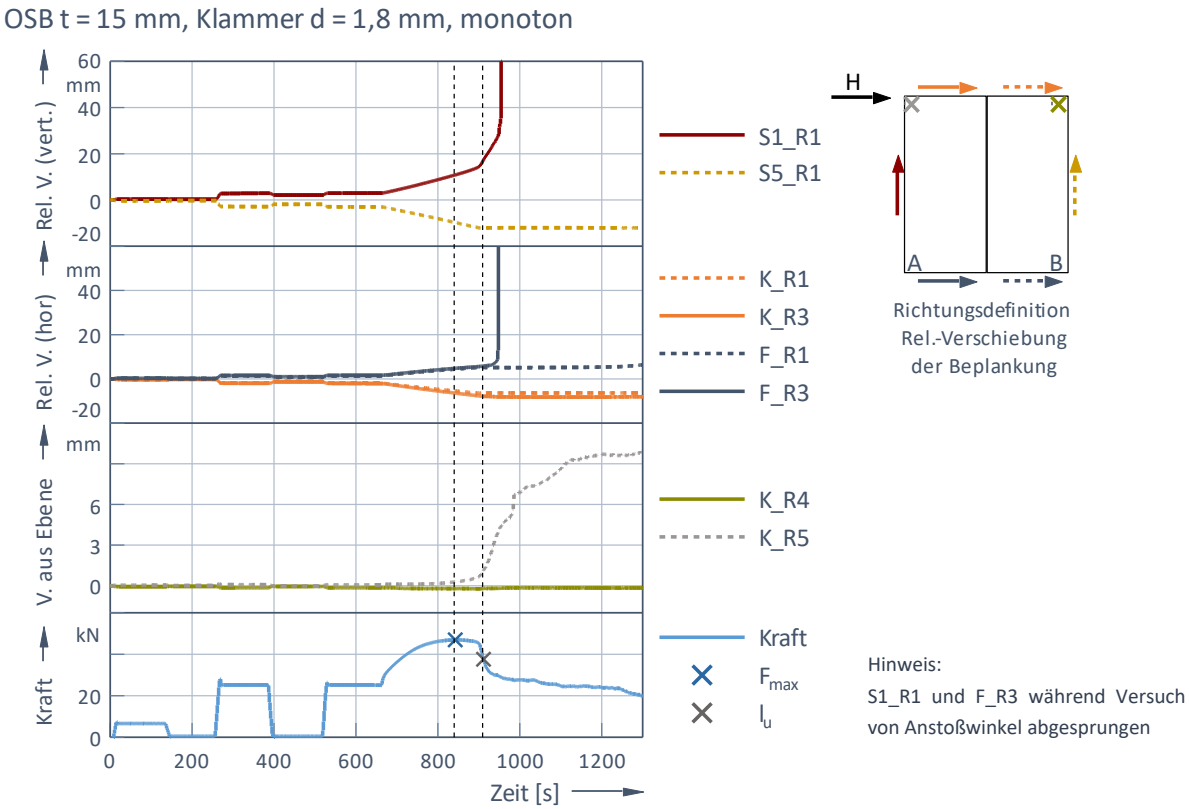


Abbildung B-10: Wegmessungen an Beplankung; WT 01_m_1

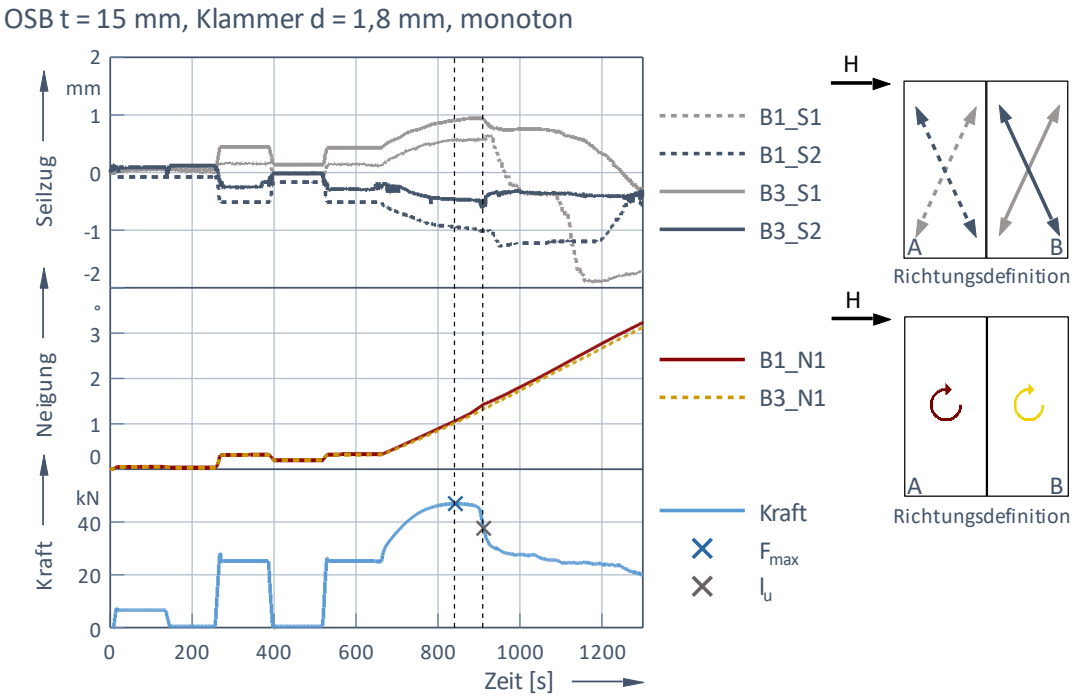


Abbildung B-11: Weg- und Neigungsmessungen an Beplankung; WT 01_m_1

B.2 Wandtafel 01_m_2

Tabelle B-2: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 01_m_2

Wandtafel	
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung
Beplankung:	OSB/3, t = 15 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm
Bekleidung 1:	Keine
Bekleidung 2:	Keine

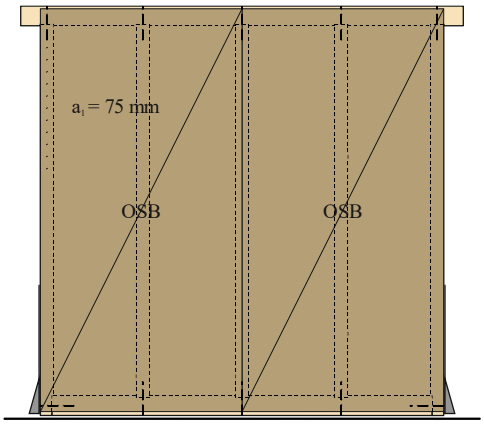


Abbildung B-12: Wandtafel 01_m_2

Untersuchung		
Datum	28.06.2023	
Raumtemperatur T	27,3 °C	
Raumfeuchte R_H	42 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 485 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 391 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 471 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 449 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	14,5 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	46,3 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

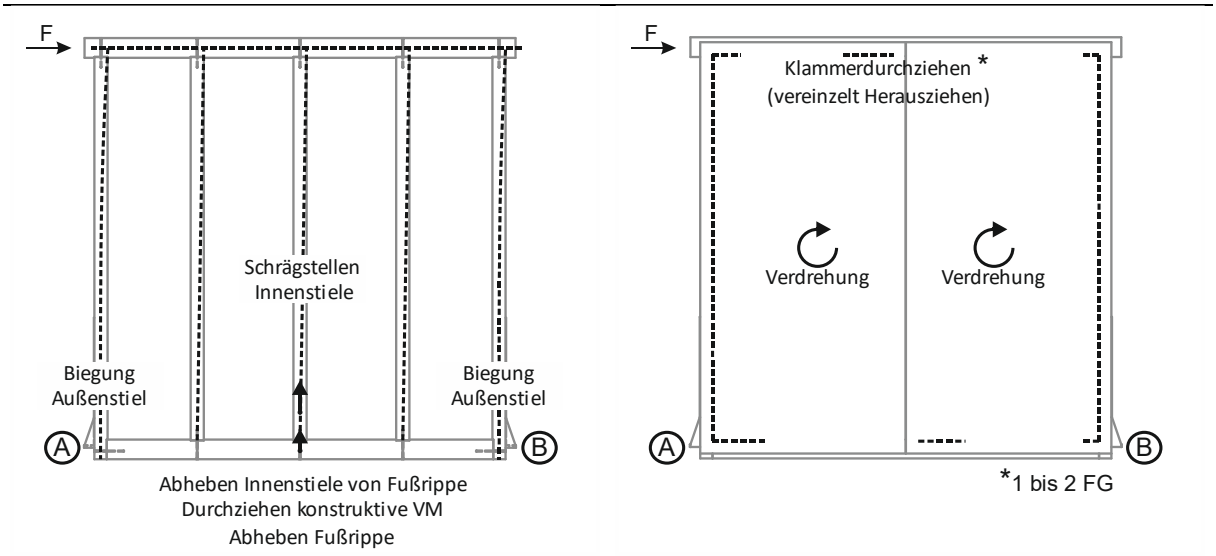
Während Versuch:

- Erhöhung der Relativverschiebung nach Erreichen der Maximalkraft
- Sichtbares Ablösen der Beplankung vom Rahmen nach Erreichen der Maximalkraft

Auswertung:

- A_VR1 und B_VR1 wurde für die Berechnung von u_{schub} nicht berücksichtigt

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



a) **(b)**

Abbildung B-13: Versagensbilder Rahmen (a) und Beplankung (b); WT 01_m_2



(a) **(b)** **(c)**



(d) **(e)** **(f)** **(g)**

Abbildung B-14: Versagensbild Vorderseite (a), Versagensbild Seitenansicht Stiel 1 (b), Versagensbild Rückseite (c), Ablösen Beplankung 1 an Stiel 3 (d), Klammerdurchziehen und -herausziehen (e-g); WT 01_m_2

Untersuchungsergebnisse

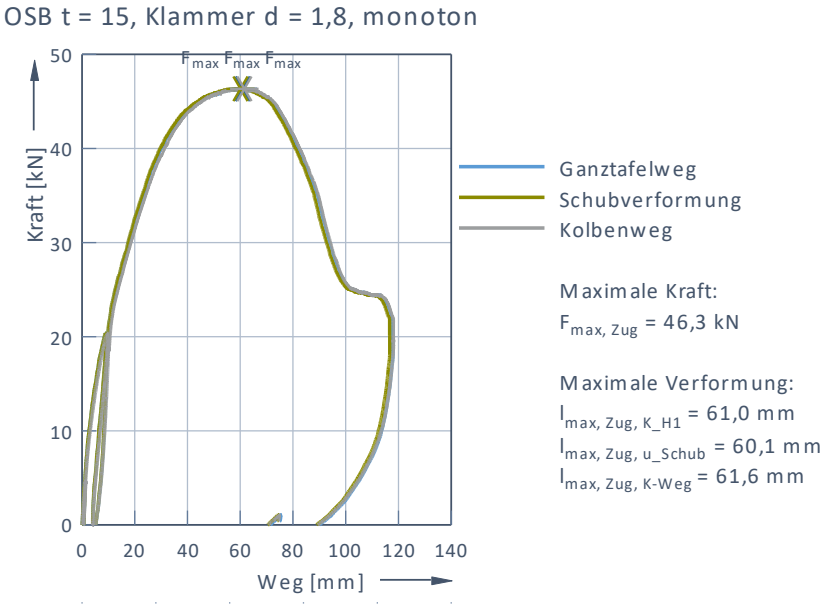


Abbildung B-15: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Ganztafelweg; WT 01_m_2

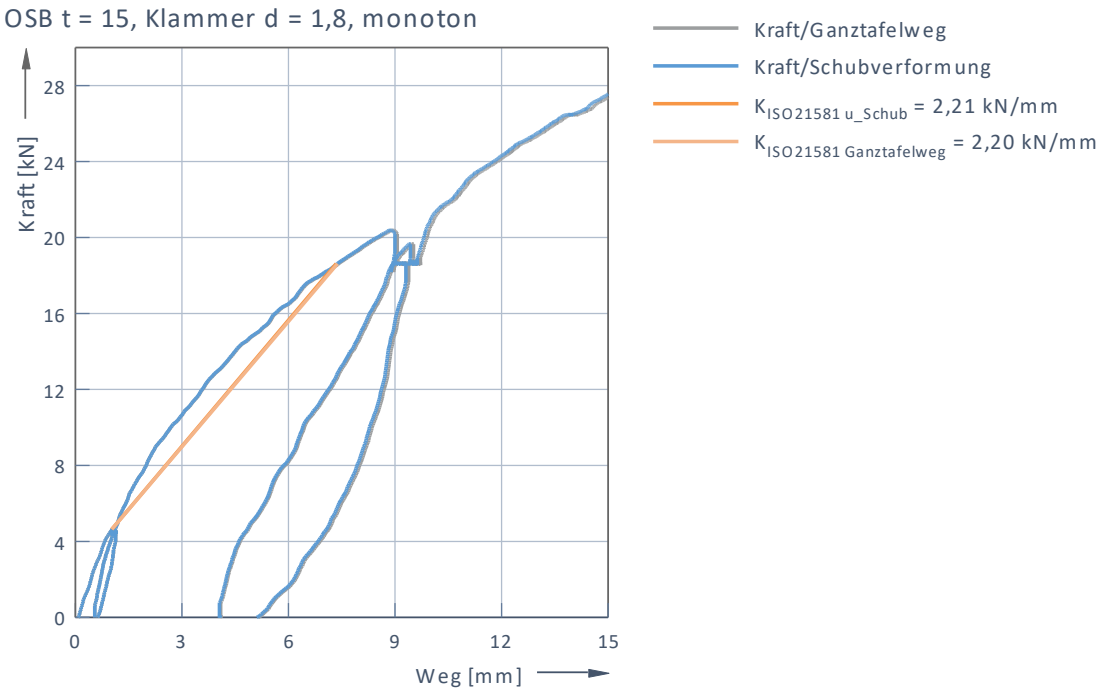


Abbildung B-16: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 01_m_2

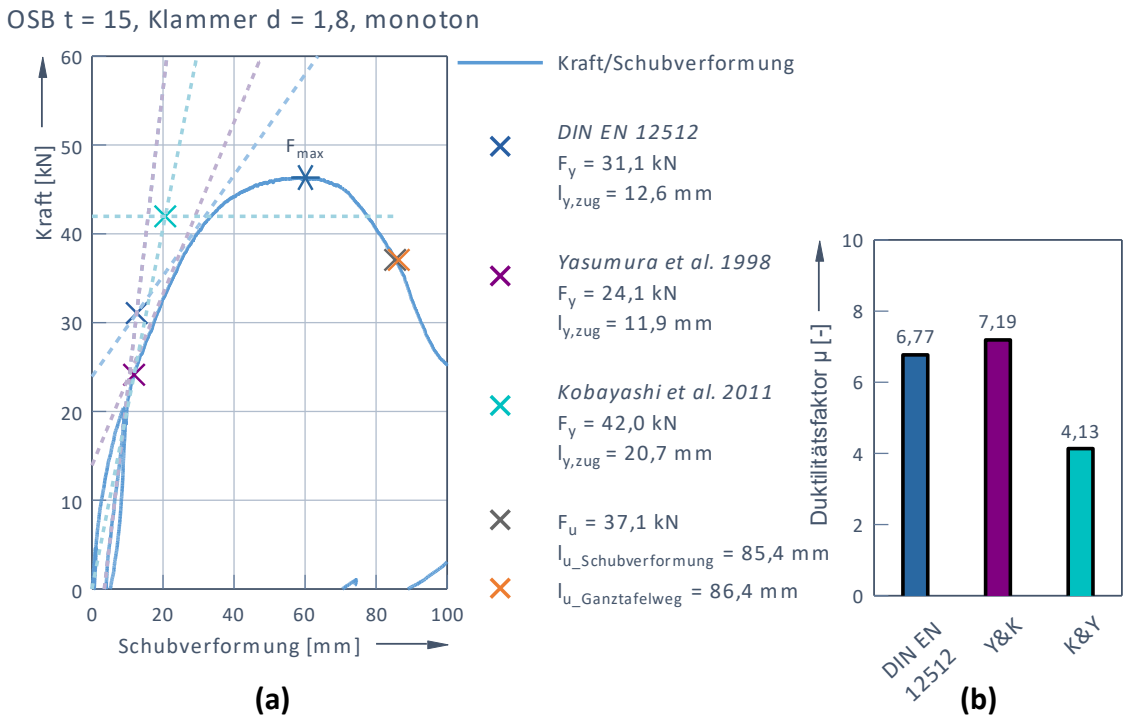


Abbildung B-17: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 01_m_2

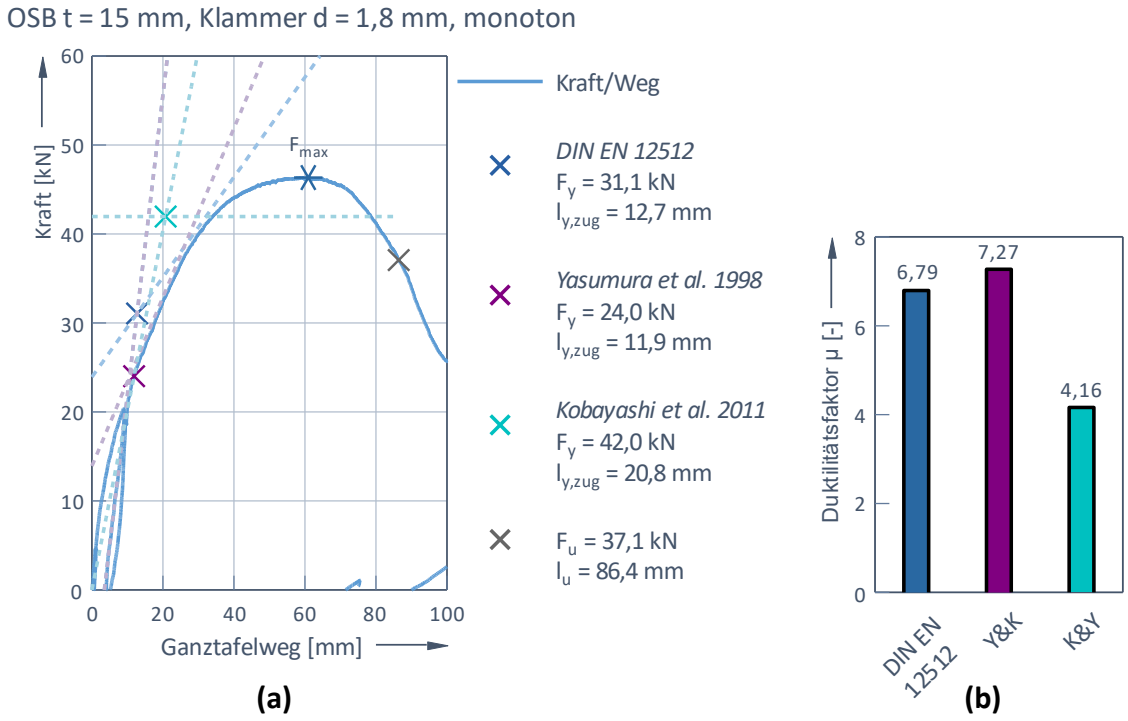


Abbildung B-18: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 01_m_2

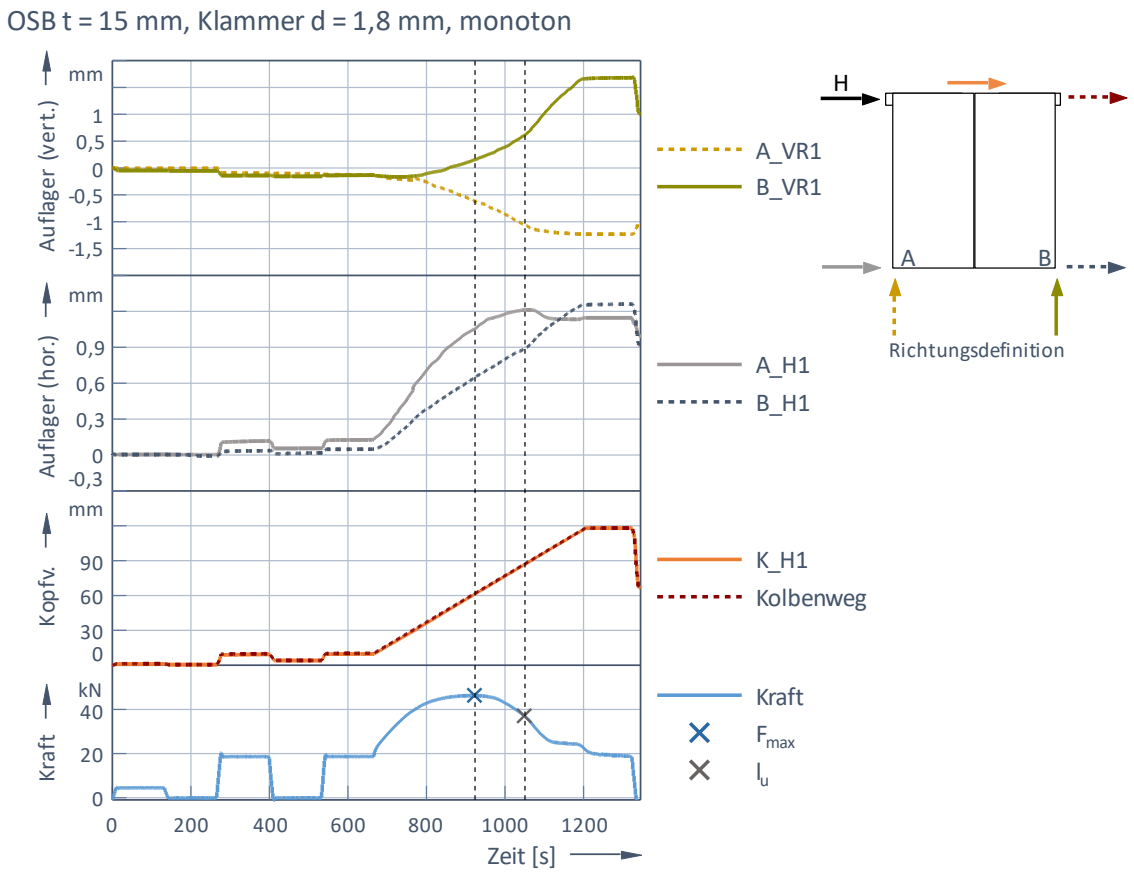


Abbildung B-19: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 01_m_2

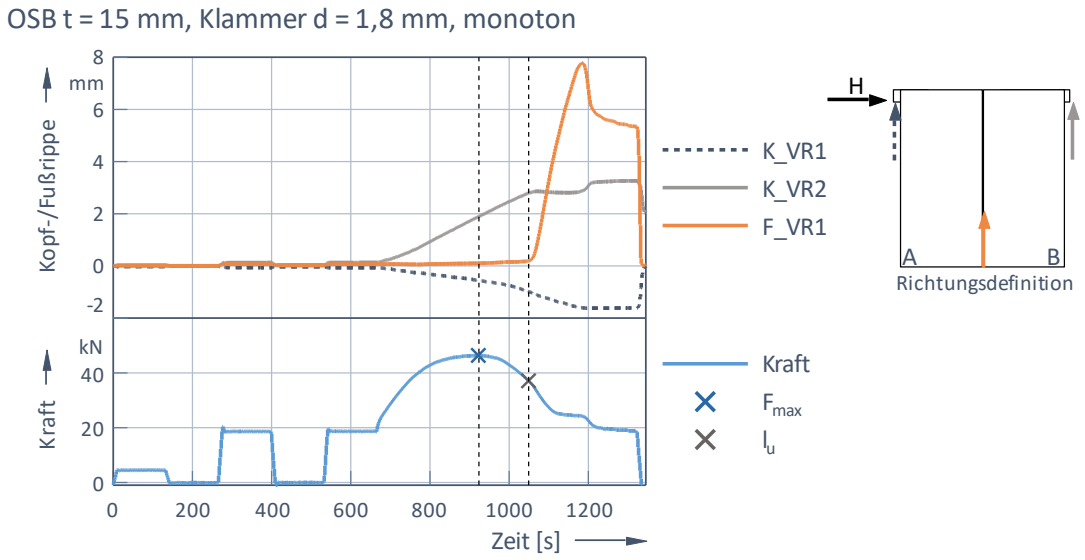


Abbildung B-20: Wegmessungen an Kopf- und Fußrippe; WT 01_m_2

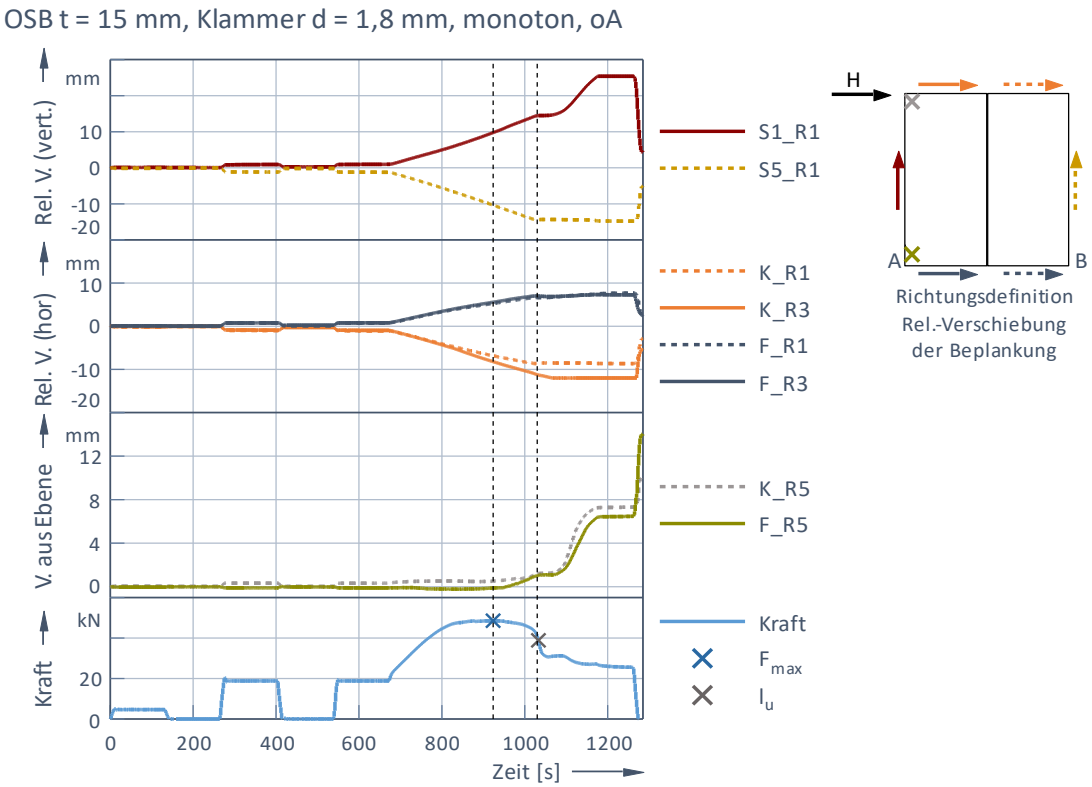


Abbildung B-21: Wegmessungen an Beplankung; WT 01_m_2

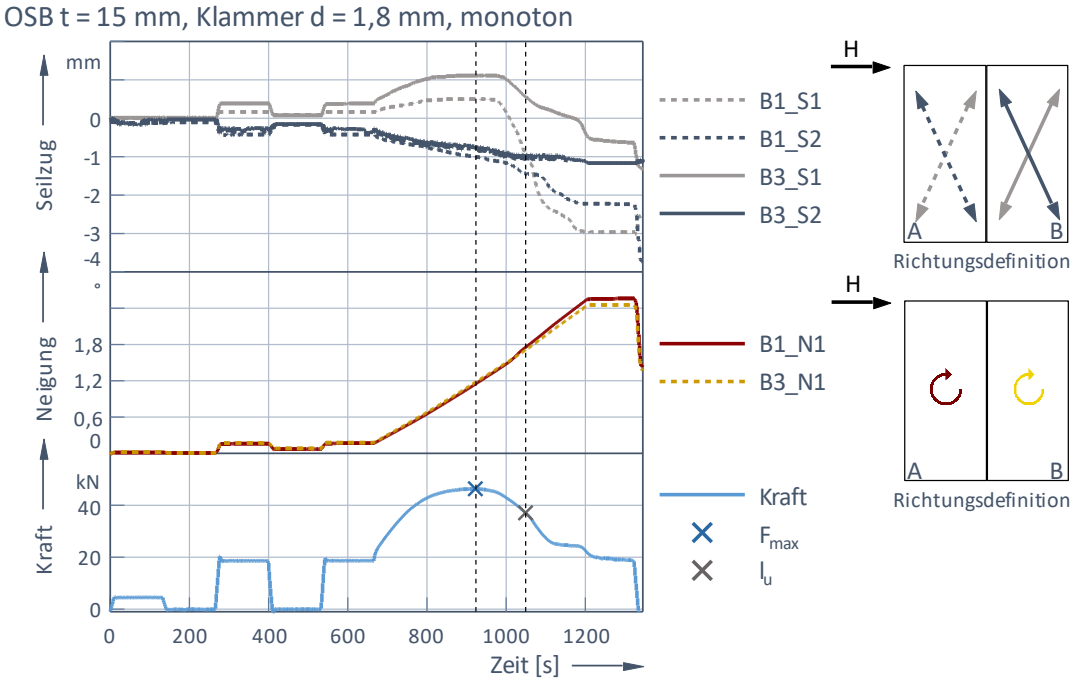


Abbildung B-22: Weg- und Neigungsmessungen an Beplankung; WT 01_m_2

B.3 Wandtafel 02_oA_m_1

Tabelle B-3: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 02_oA_m_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm, KVH C24, ohne Ausklinkung	
Beplankung:	OSB/3, t = 15 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	Keine	
Bekleidung 2:	Keine	

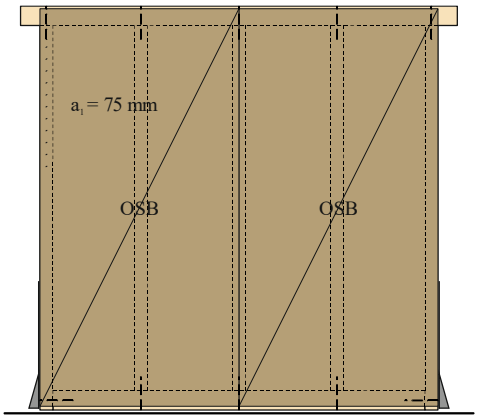


Abbildung B-4: Wandtafel 02_oA_m_1

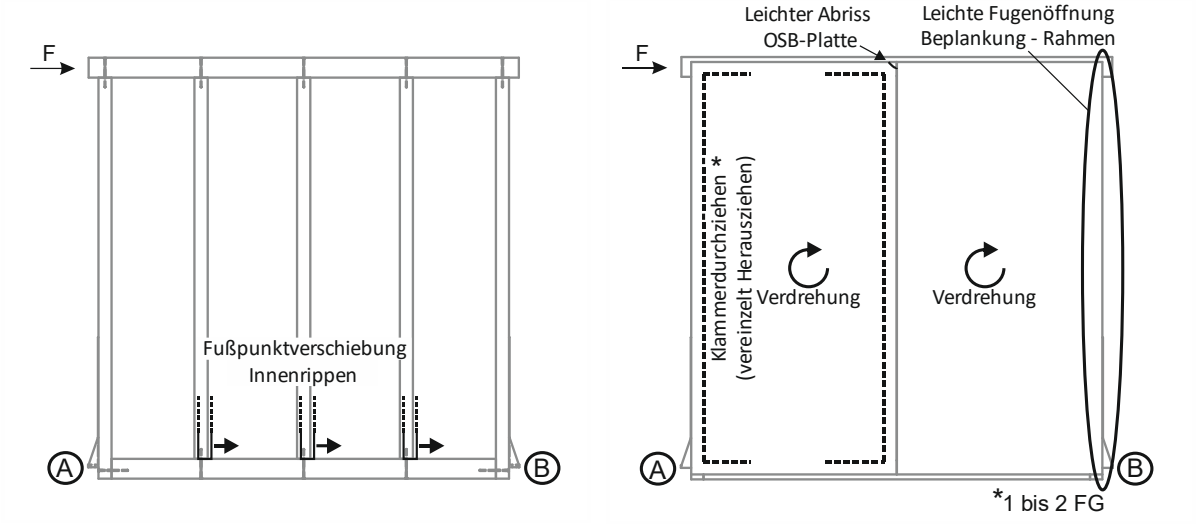
Untersuchung		
Datum	15.06.2023	
Raumtemperatur T	25,7 °C	
Raumfeuchte R_H	33 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 456 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 462 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 390 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 462 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	14,9 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	48,6 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

Während Versuch:

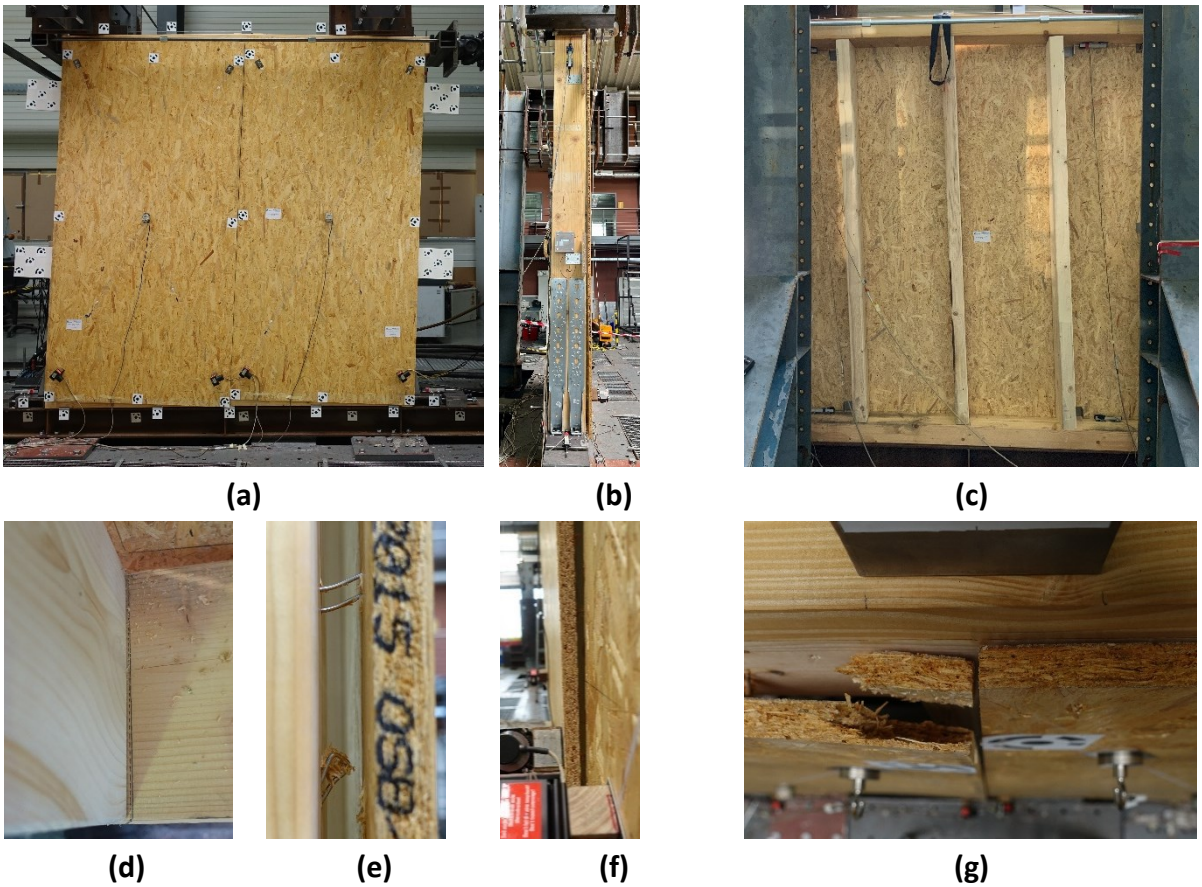
- Versuchsabbruch, nachdem Beplankung 1 mit rechter unterer Ecke auf Phidias-Messmarke 43 drückte
- Ablösen der Beplankung 1 von Innenstiel nach Kontakt mit Phidias-Messmarke 43

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



(a) **(b)**

Abbildung B-23: Versagensbilder Rahmen (a) und Beplankung (b); WT 02_oA_m_1



(a) **(b)** **(c)**

(d) **(e)** **(f)** **(g)**

Abbildung B-24: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 5 (b), Versagensbild Rückseite (c), Fußpunktverschiebung Stiel 3 (d), Durchziehen und Herausziehen Klammern an Stiel 1 (e), Ablösen Beplankung 1 von Stiel 3 (f), Lokales Versagen OSB-Platte (g); WT 02_oA_m_1

Untersuchungsergebnisse

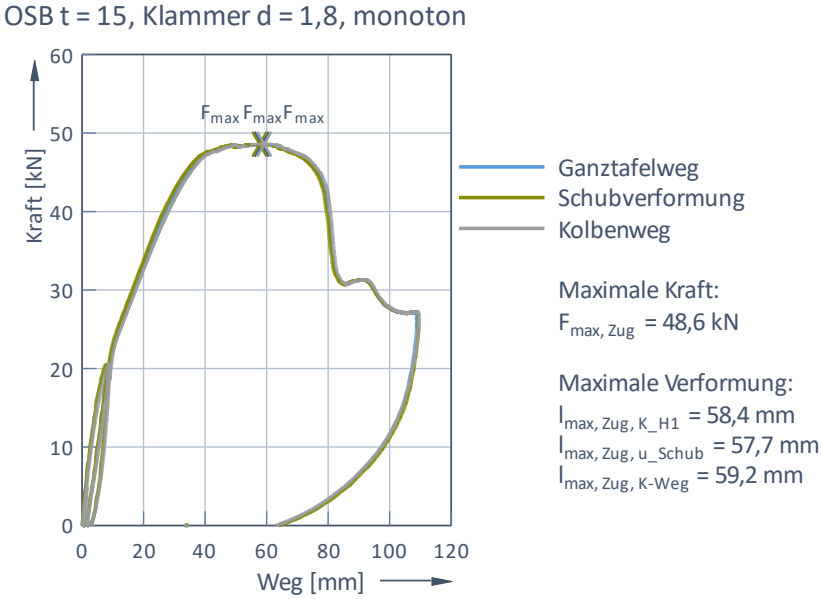


Abbildung B-25: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 02_oA_m_1

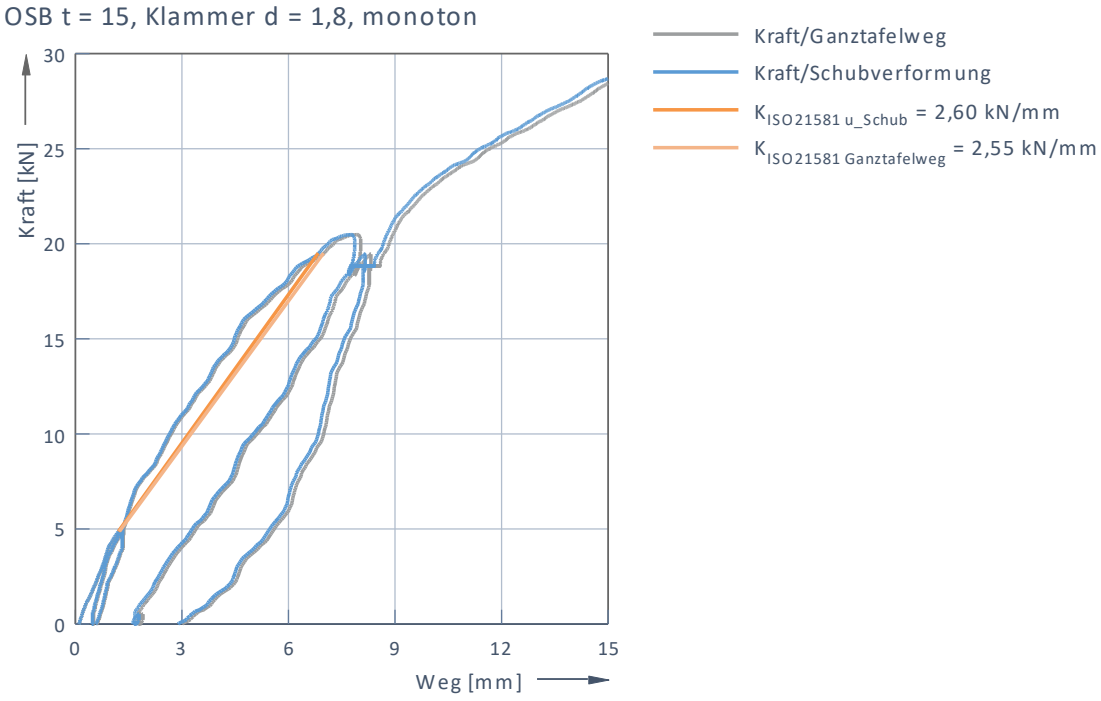


Abbildung B-26: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg (a); WT 02_oA_m_1

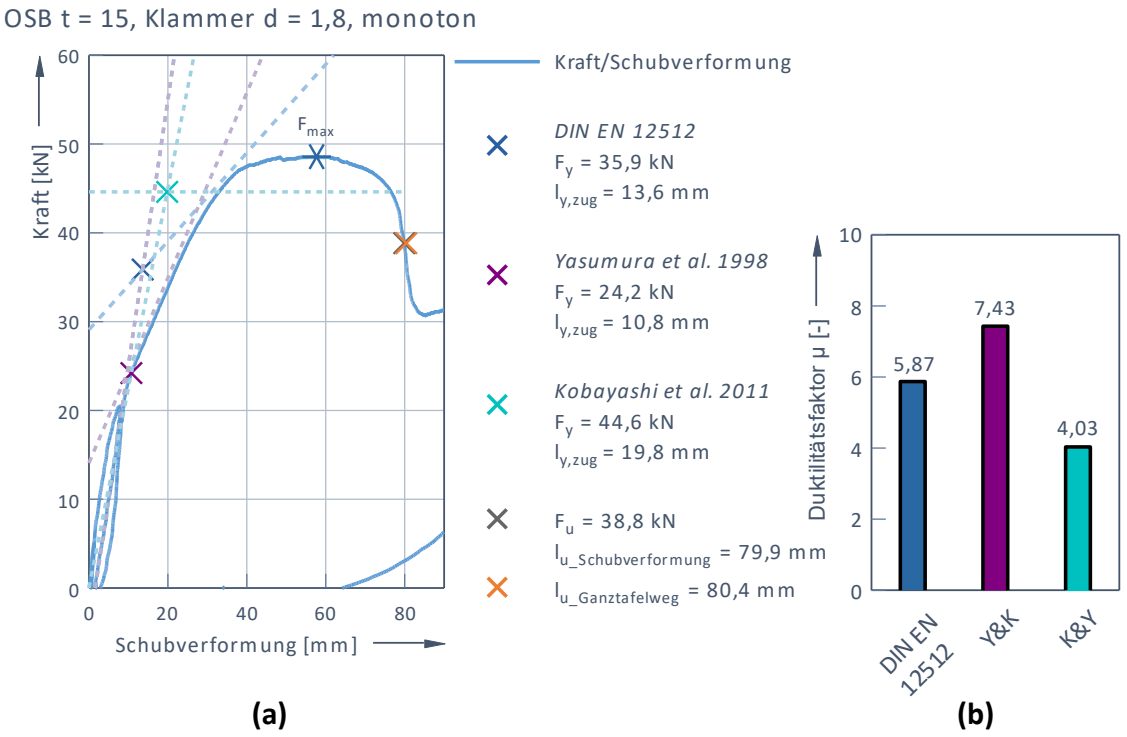


Abbildung B-27: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 02_oA_m_1

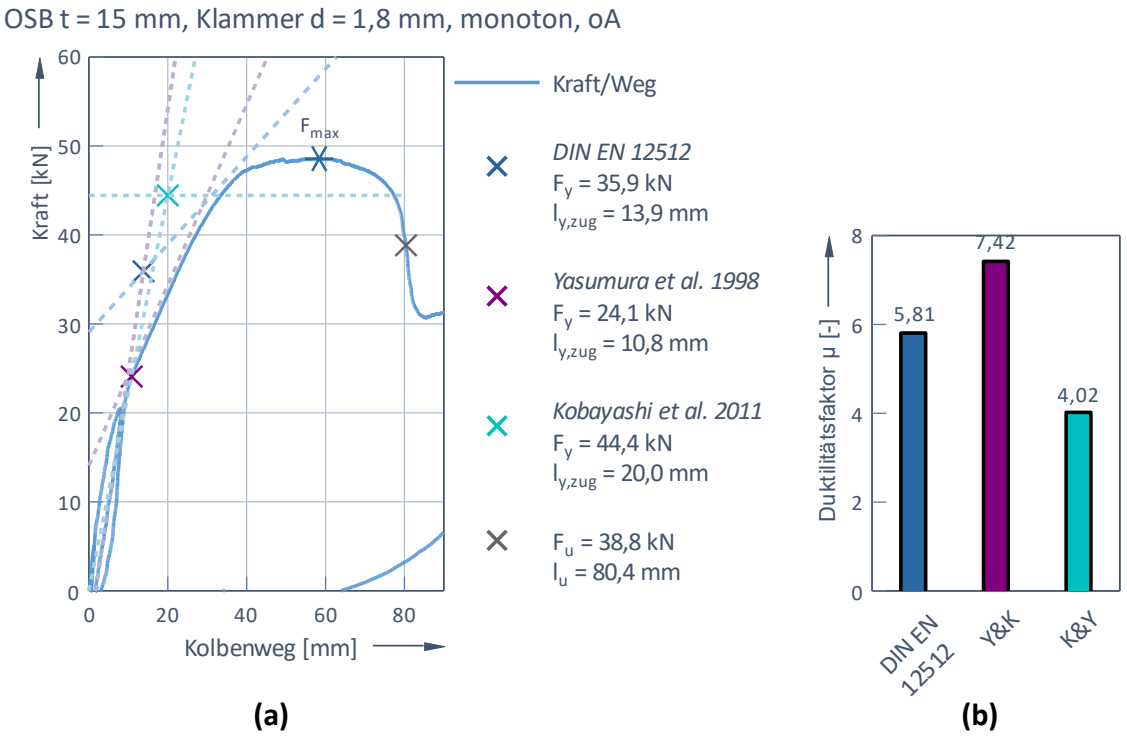


Abbildung B-28: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 02_oA_m_1

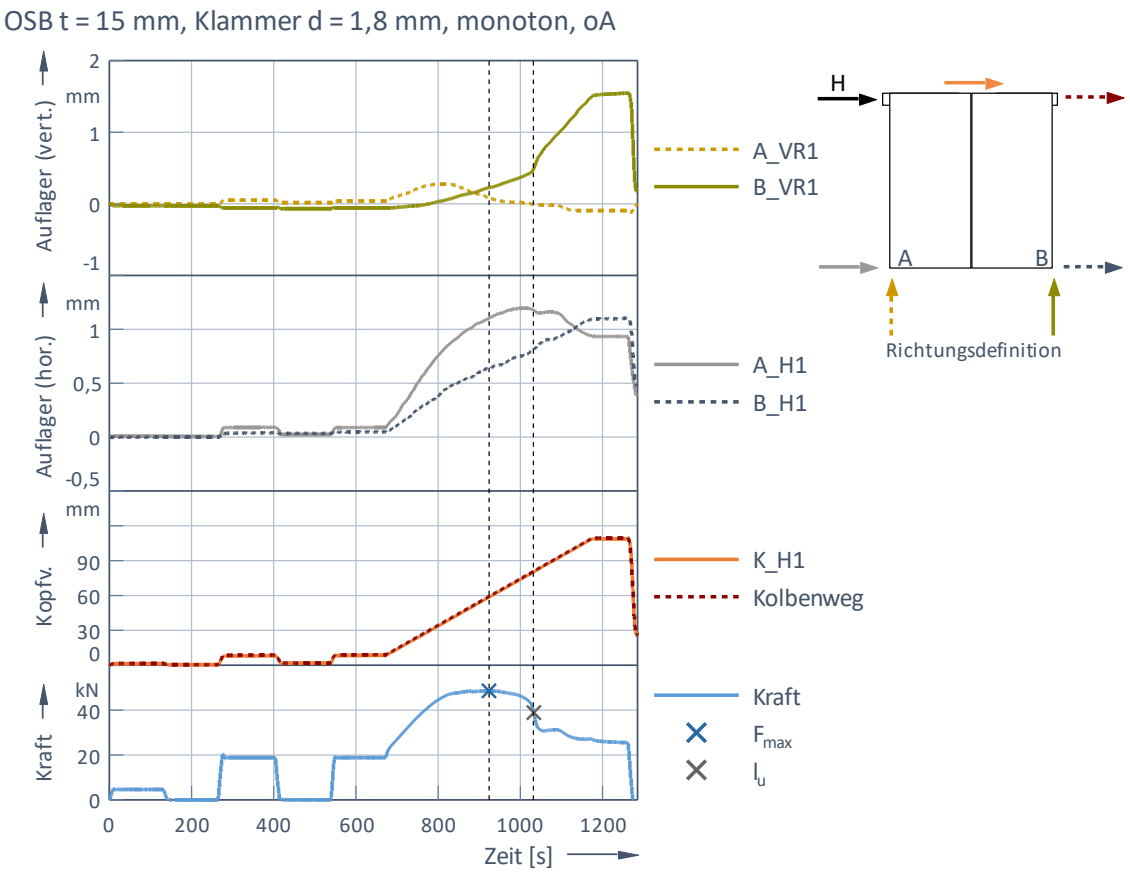


Abbildung B-29: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 02_oA_m_1

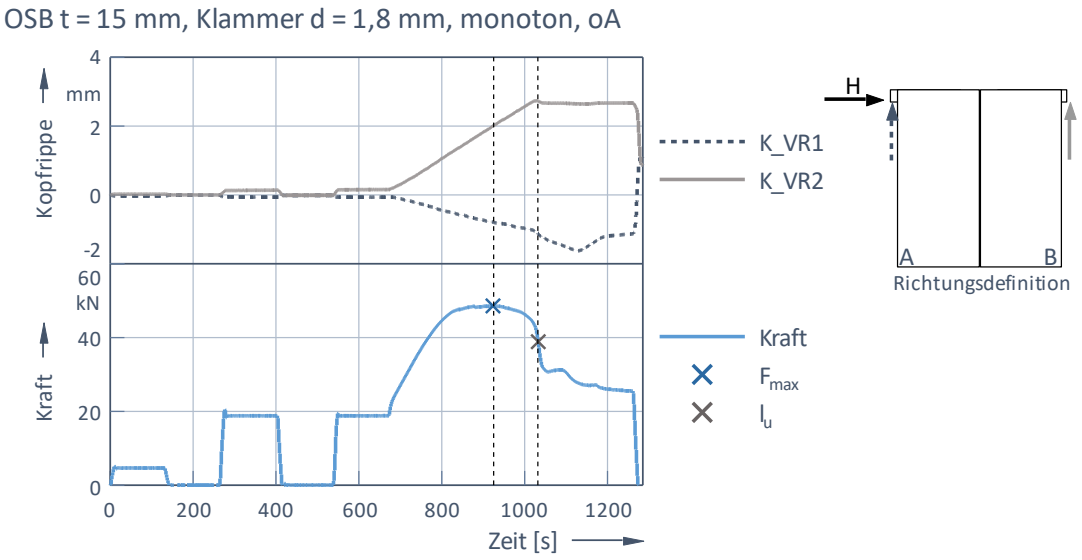


Abbildung B-30: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 02_oA_m_1

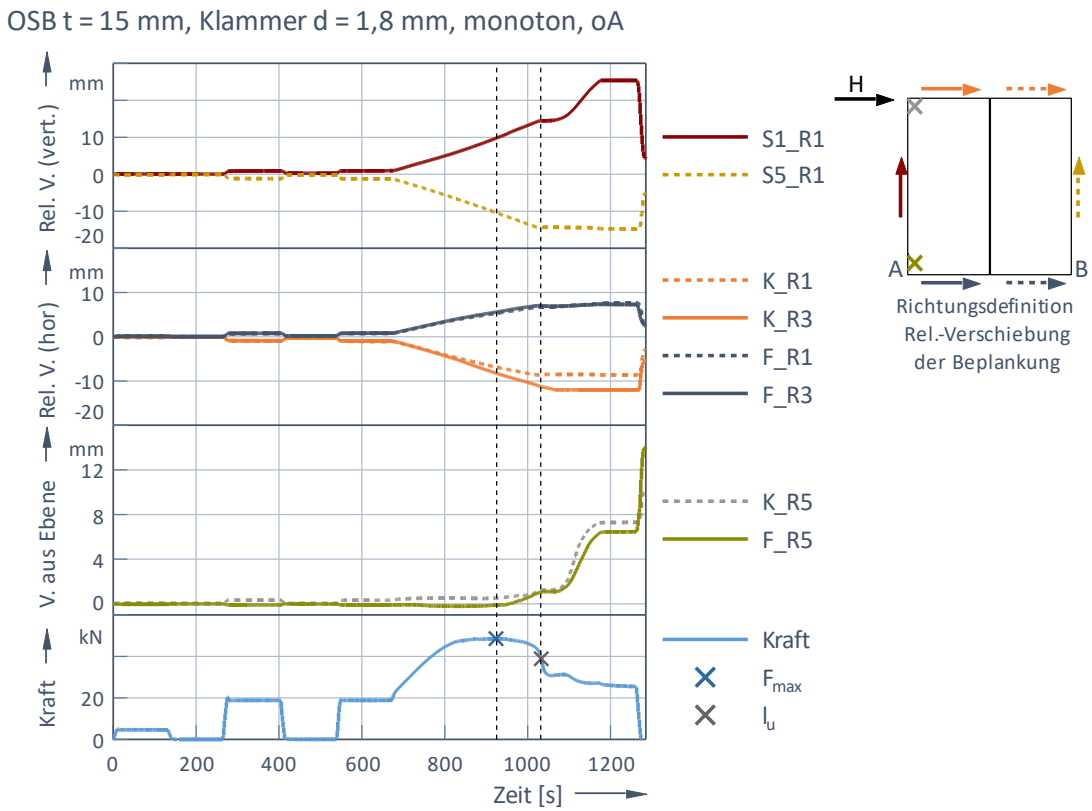


Abbildung B-31: Wegmessungen an Beplankung; WT 02_oA_m_1

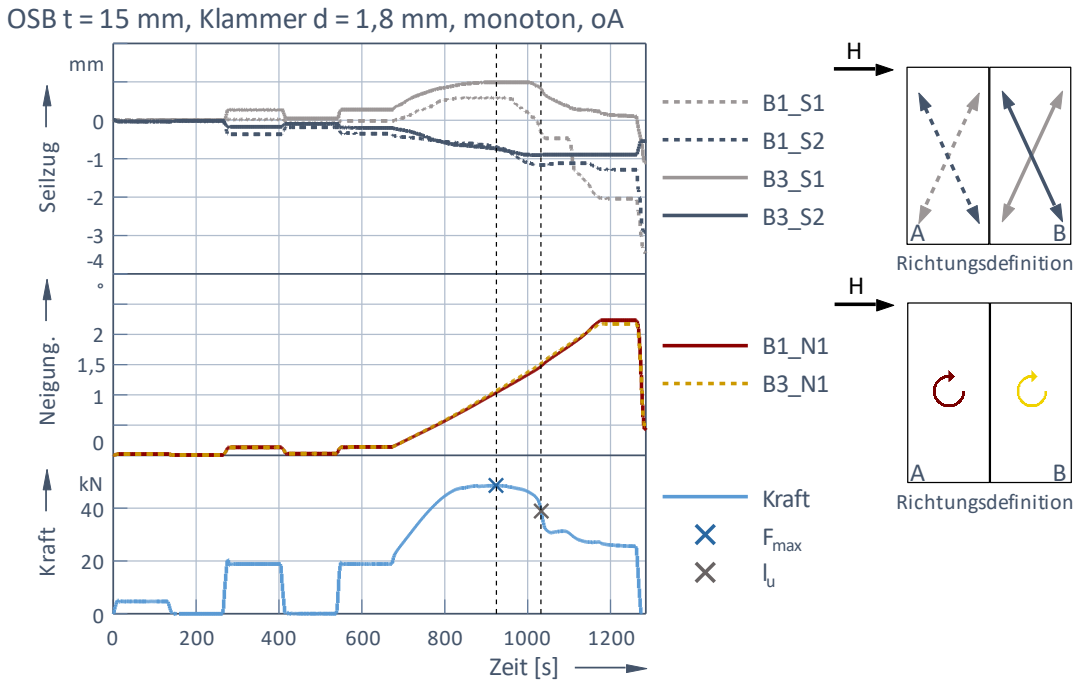


Abbildung B-32: Weg- und Neigungsmessungen an Beplankung; WT 02_oA_m_1

B.4 Wandtafel 03_m_1

Tabelle B-4: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 03_m_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	GFB, t = 12,5 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	Keine	
Bekleidung 2:	Keine	

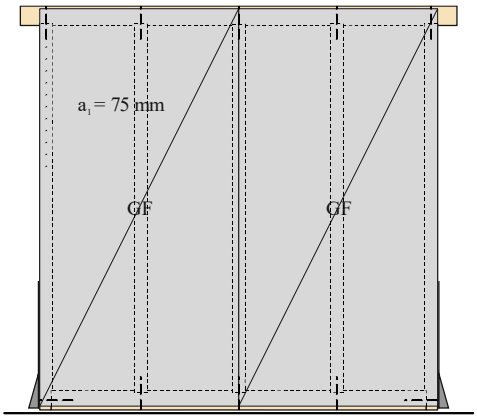


Abbildung B-33: Wandtafel 03_m_1

Untersuchung		
Datum	16.06.2023	
Raumtemperatur T	26,9 °C	
Raumfeuchte R_H	31 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 454 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 499 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 428 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 460 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	15,0 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	54,3 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

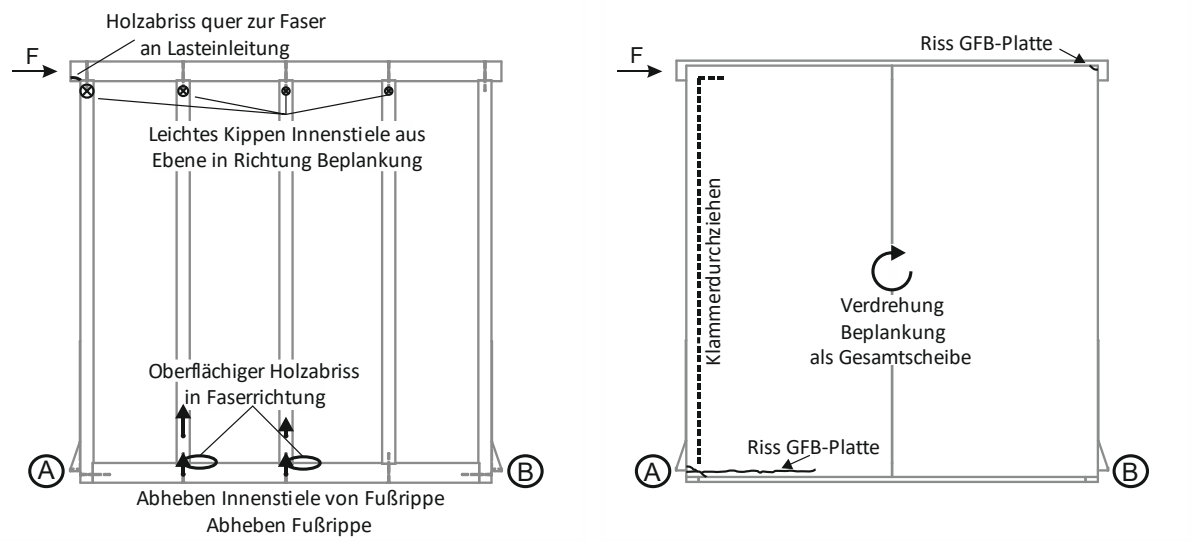
Abweichung ISO 21581:

- Grenzverschiebung l_u circa 1,8 Minuten nach Ende der Vorbelastung erreicht

Während Versuch:

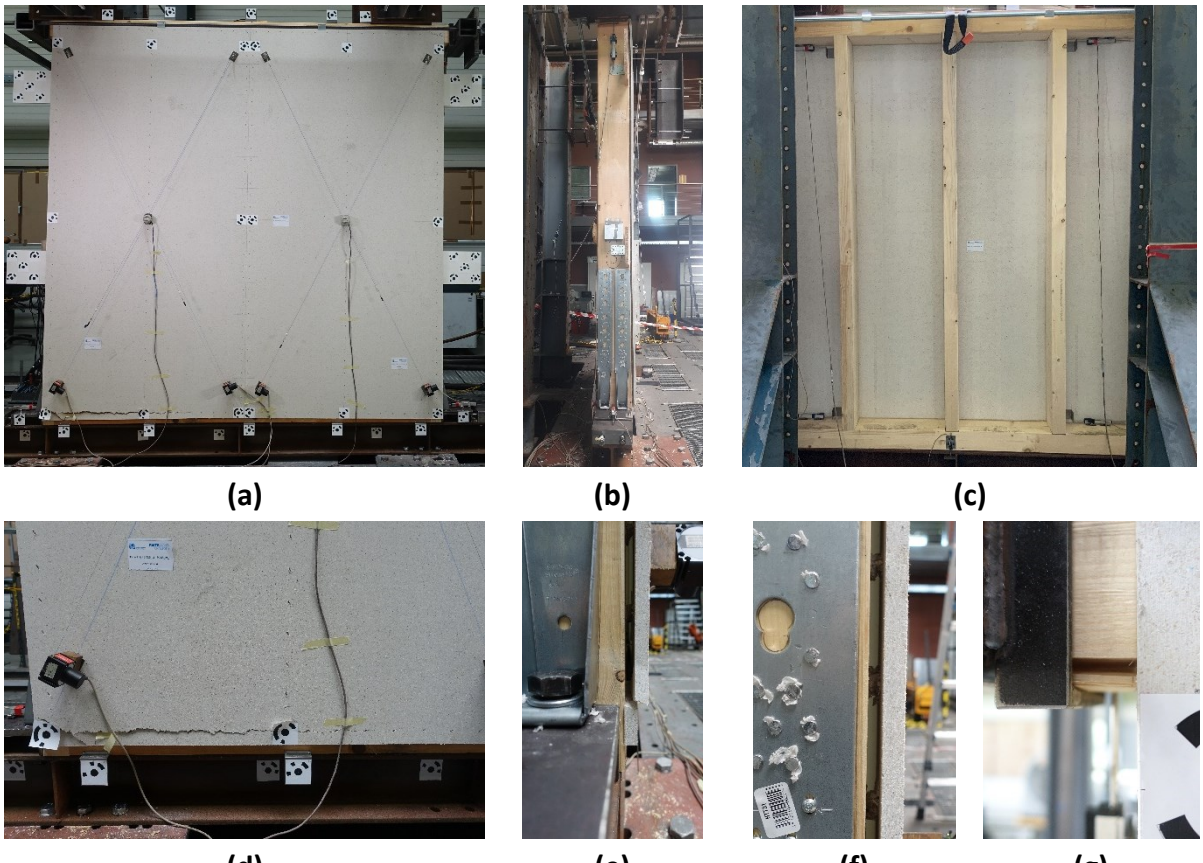
- Schrauben der Vertikalverankerung an Auflager A nicht ausreichend fest angezogen
- Zunächst Rissbildung Diagonalrisse in Ecken, anschließend schlagartig auftretender Horizontalriss und Ablösen der Beplankung

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



(a) **(b)**

Abbildung B-34: Versagensbilder Rahmen (a) und Beplankung (b); WT 03_m_1



(a) **(b)** **(c)**

(d) **(e)** **(f)** **(g)**

Abbildung B-35: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b), Versagensbild Rückseite (c), Rissbildung Beplankung 1 (d), Ablösen Beplankung 1 (e), Durchziehen Klammern an Stiel 1 (f), Lokales Versagen an Lasteinleitung (g); WT 03_m_1

Untersuchungsergebnisse

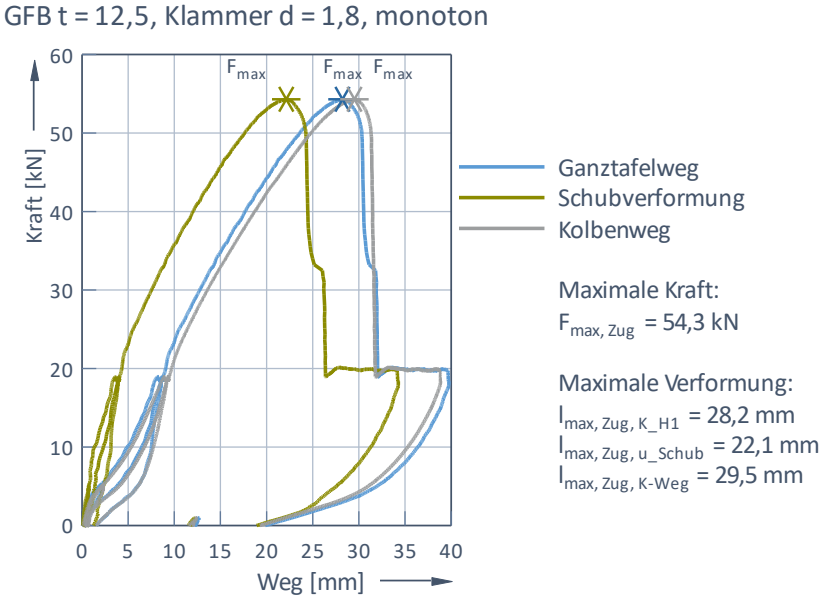


Abbildung B-36: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 03_m_1

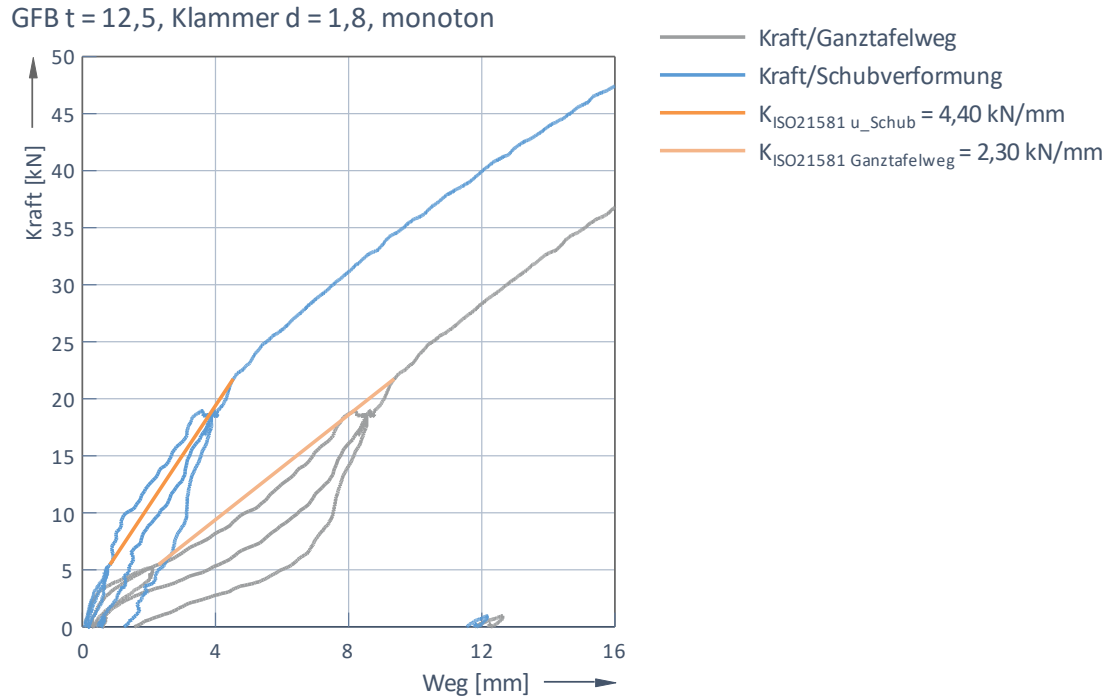


Abbildung B-37: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 03_m_1

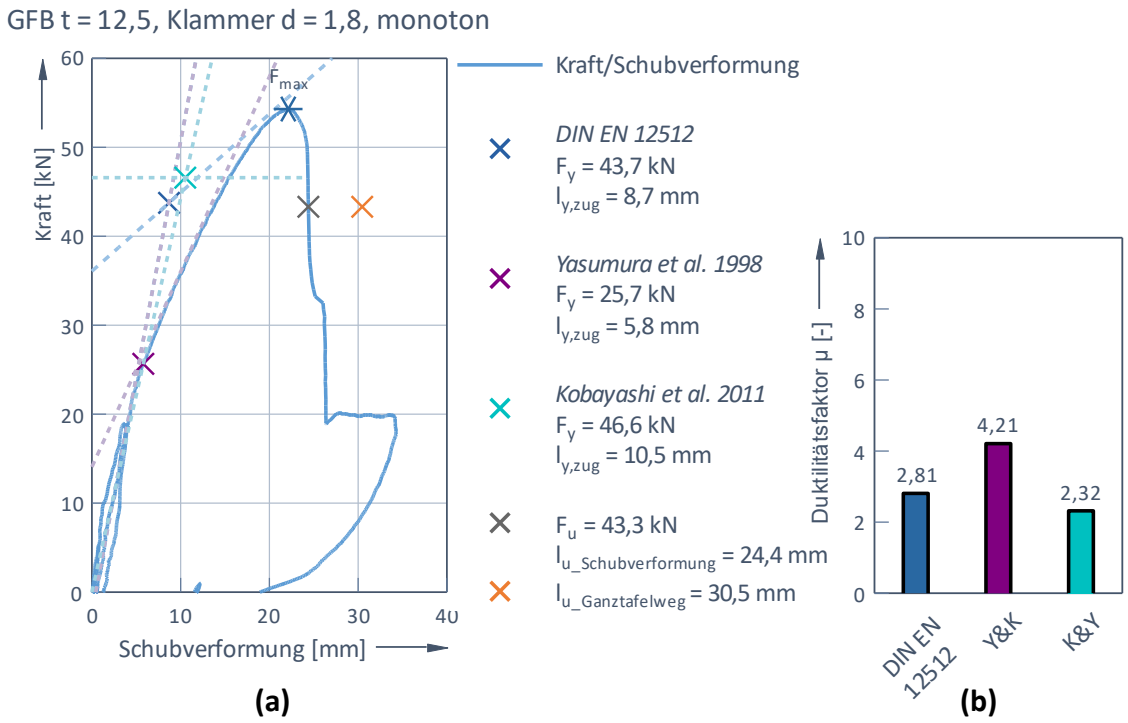


Abbildung B-38: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 03_m_1

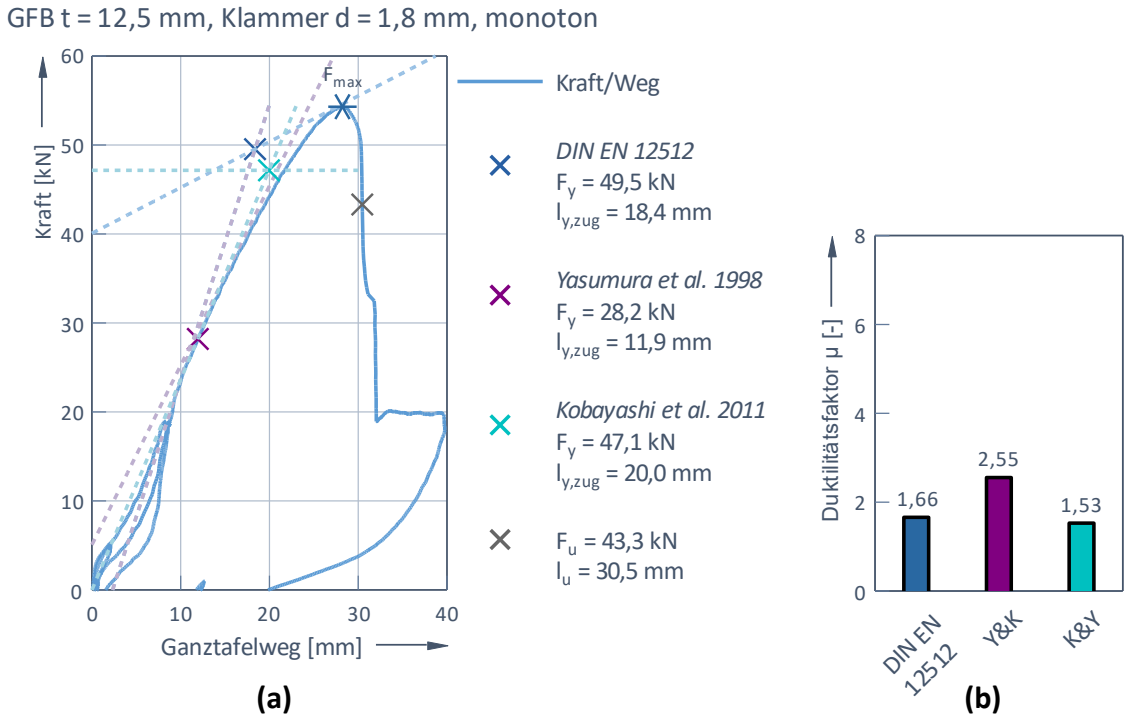


Abbildung B-39: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 03_m_1

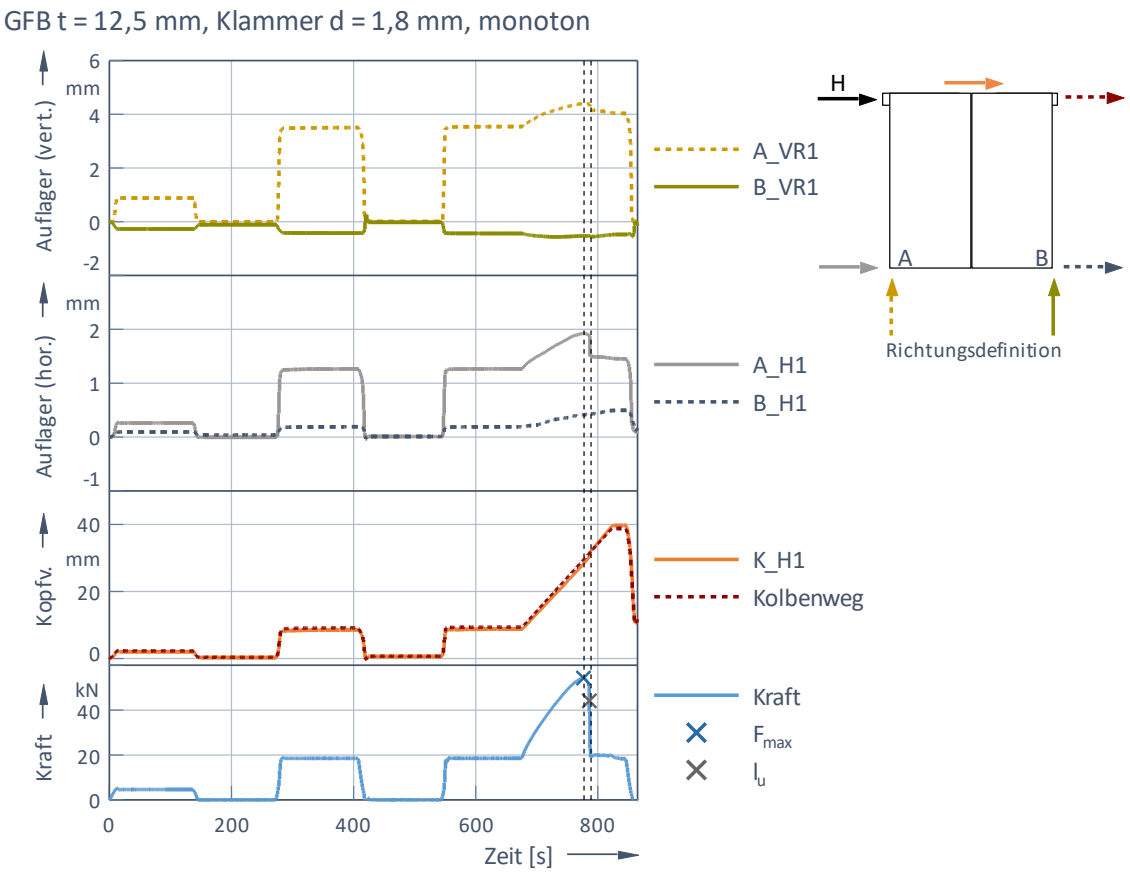


Abbildung B-40: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 03_m_1

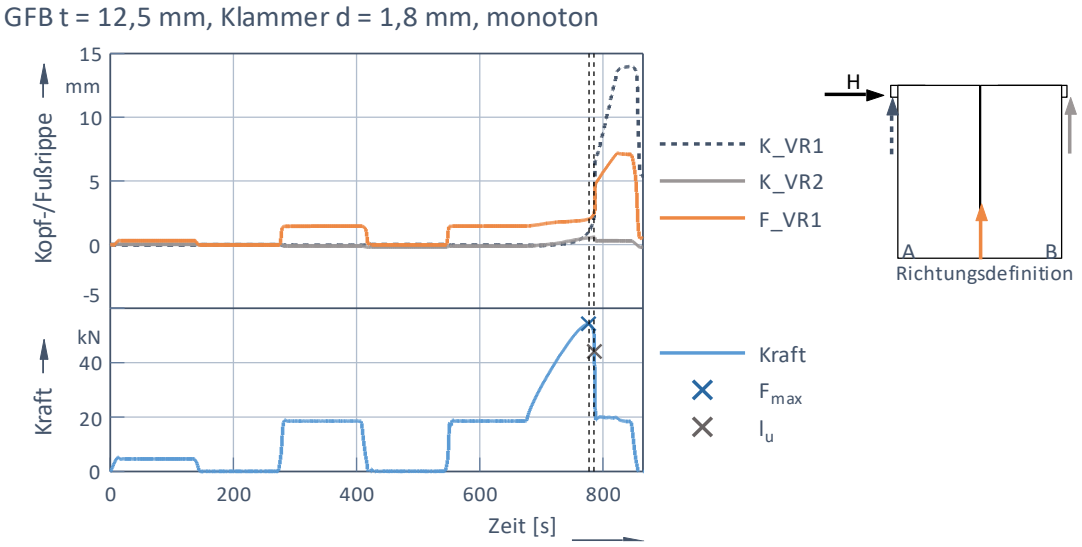


Abbildung B-41: Wegmessungen an Kopf- und Fußrippe; WT 03_m_1

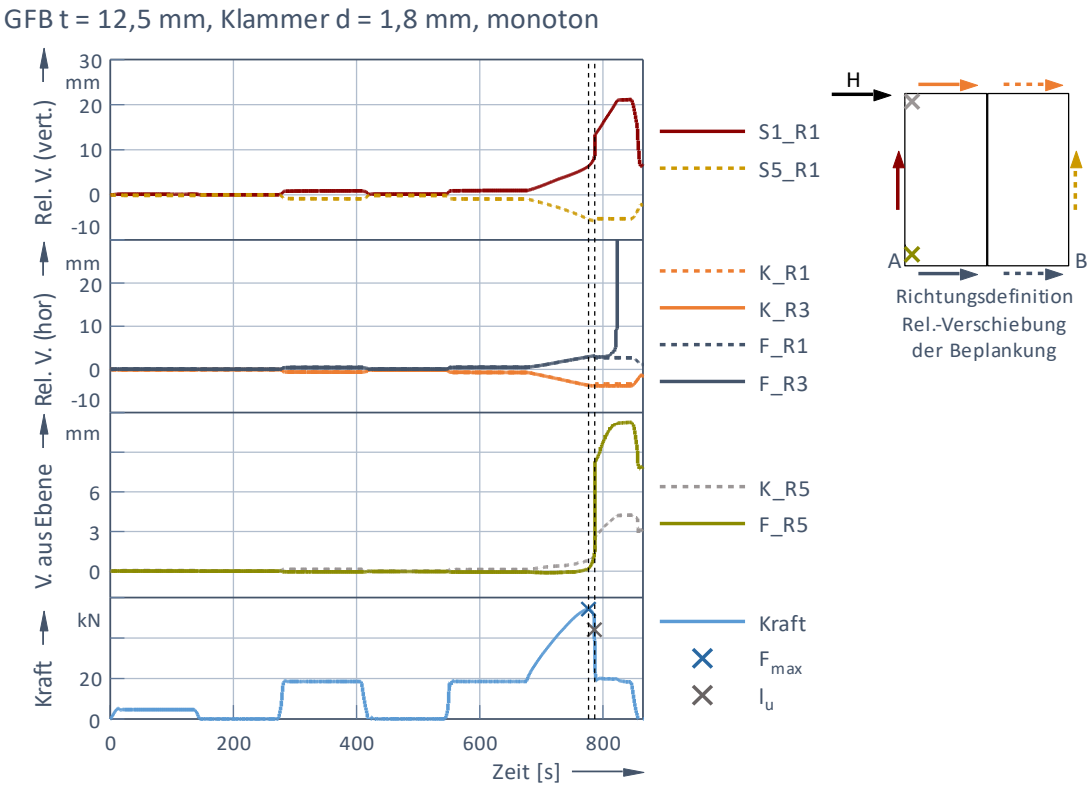


Abbildung B-42: Wegmessungen an Beplankung; WT 03_m_1

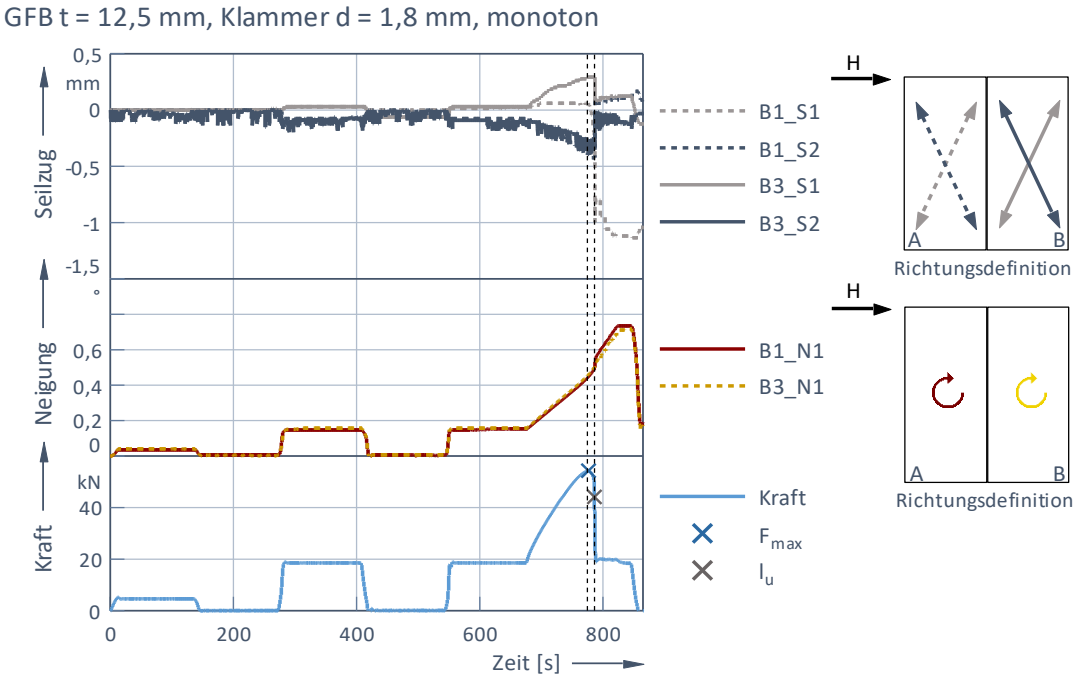


Abbildung B-43: Weg- und Neigungsmessungen an Beplankung; WT 03_m_1

B.5 Wandtafel 03_m_2

Tabelle B-5: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 03_m_2

Wandtafel	
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung
Beplankung:	GFB, t = 12,5 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm
Bekleidung 1:	Keine
Bekleidung 2:	Keine

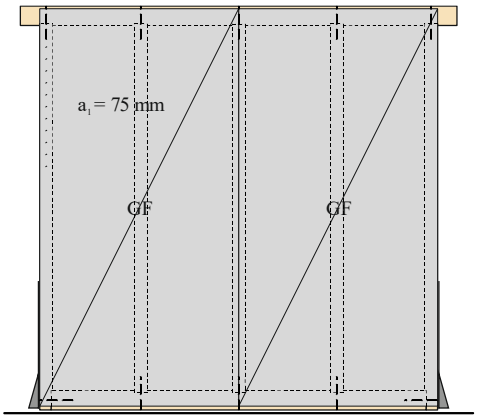


Abbildung B-44: Wandtafel 03_m_2

Untersuchung		
Datum	29.06.2023	
Raumtemperatur T	27,1 °C	
Raumfeuchte R_H	52 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 419 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 471 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 450 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 447 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	14,5 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	41,8 kN	(GFB-Versagen Beplankung maßgebend)

Anmerkungen

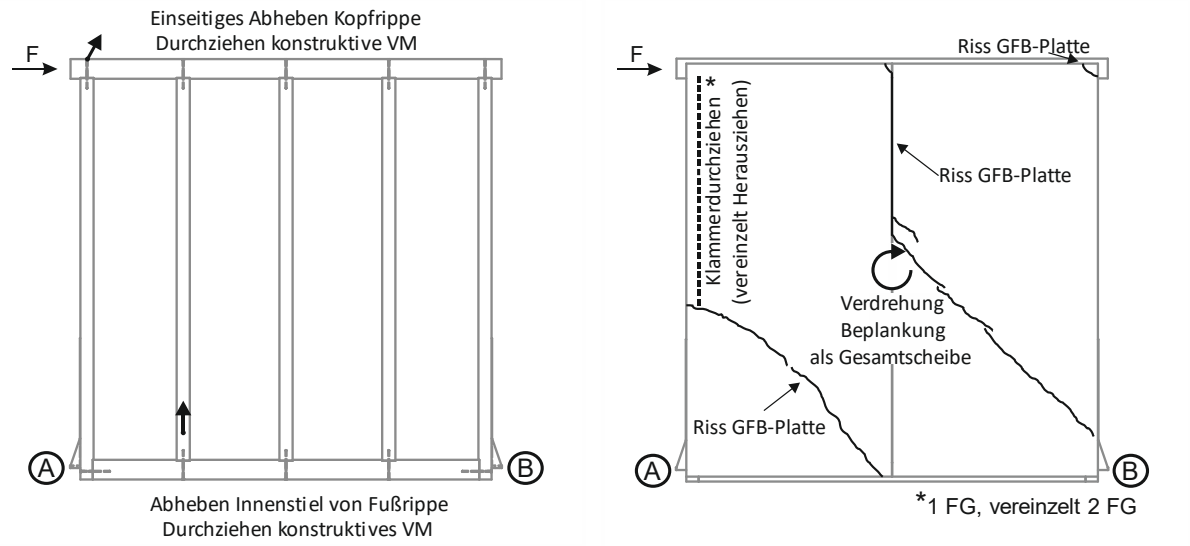
Abweichung ISO 21581:

- Grenzverschiebung l_u circa 2 Minuten nach Ende der Vorbelastung erreicht

Während Versuch:

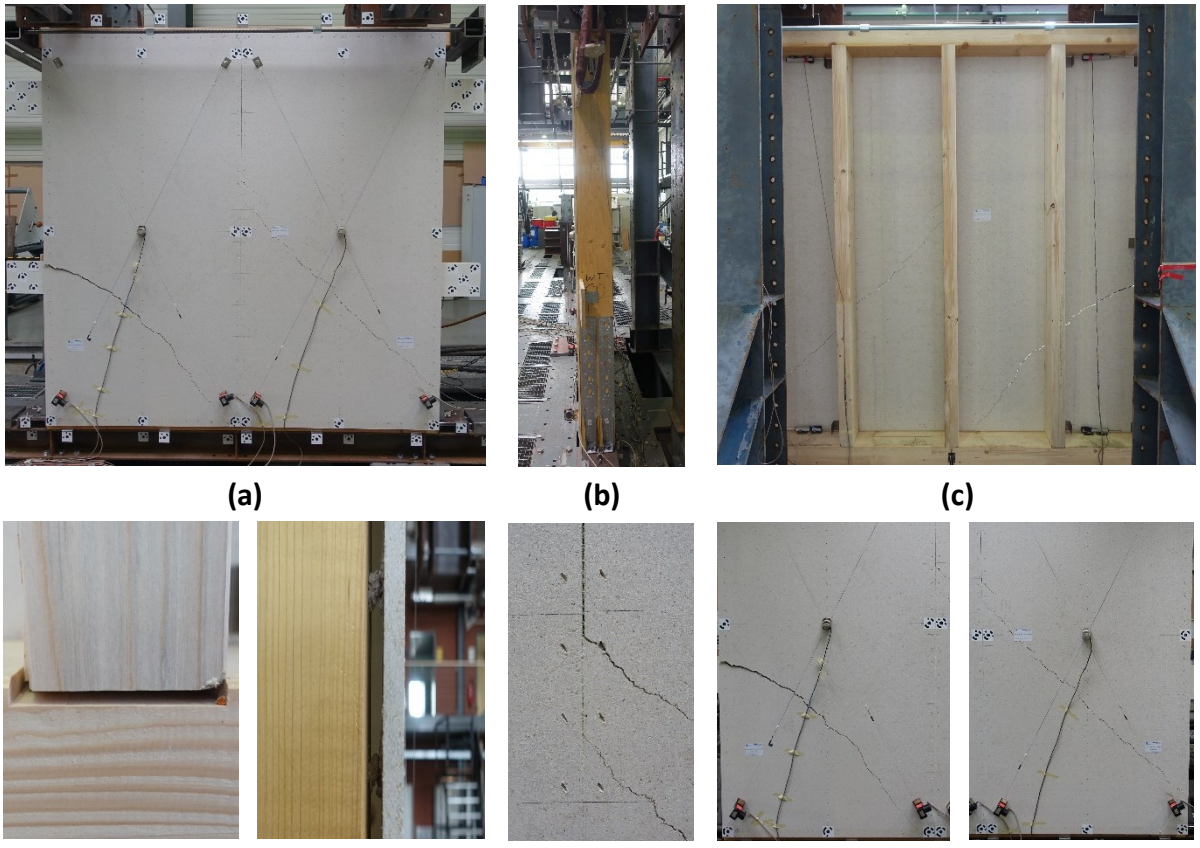
- Bei erstem Lastabfall sichtbare Rissbildung an Beplankung 1 in Ecke oben rechts
- Rissfortsetzung durch Fuge zwischen Beplankungsplatten in die Beplankung 3
- Nach erneutem Lastanstieg Rissbildung in Beplankung 1 beginnend an Außenstiel S1

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



(a) **(b)**

Abbildung B-45: Versagensbilder Rahmen (a) und Beplankung (b); WT 03_m_2



(a) **(b)** **(c)**

(d) **(e)** **(f)** **(g)** **(h)**

Abbildung B-46: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 5 (b), Versagensbild Rückseite (c), Abheben Stiel 2 von Fußrippe (d), Durchziehen Klammern an Stiel 1 und Ablösen Beplankung 1 (e), Rissbildung auf Beplankung 1 und 2 (f-h); WT 03_m_2

Untersuchungsergebnisse

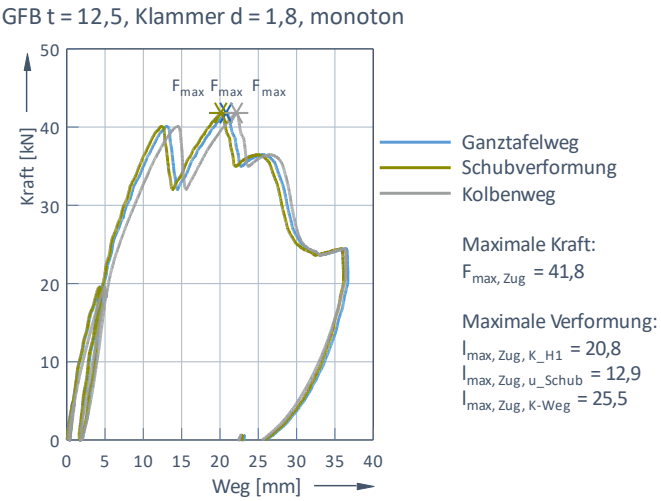


Abbildung B-47: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 03_m_2

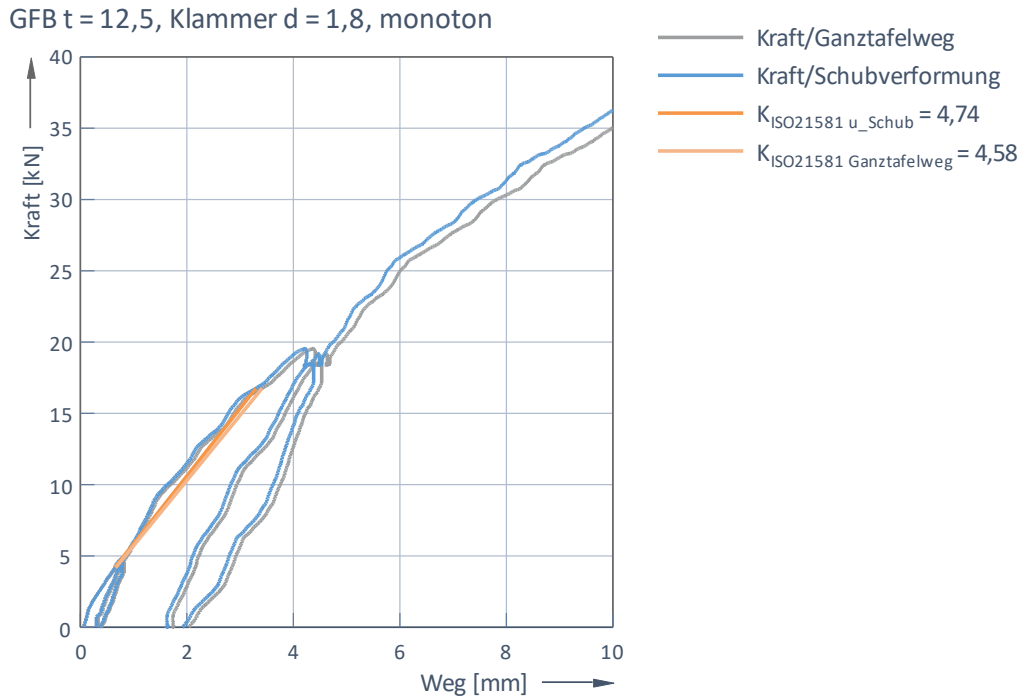


Abbildung B-48: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 03_m_2

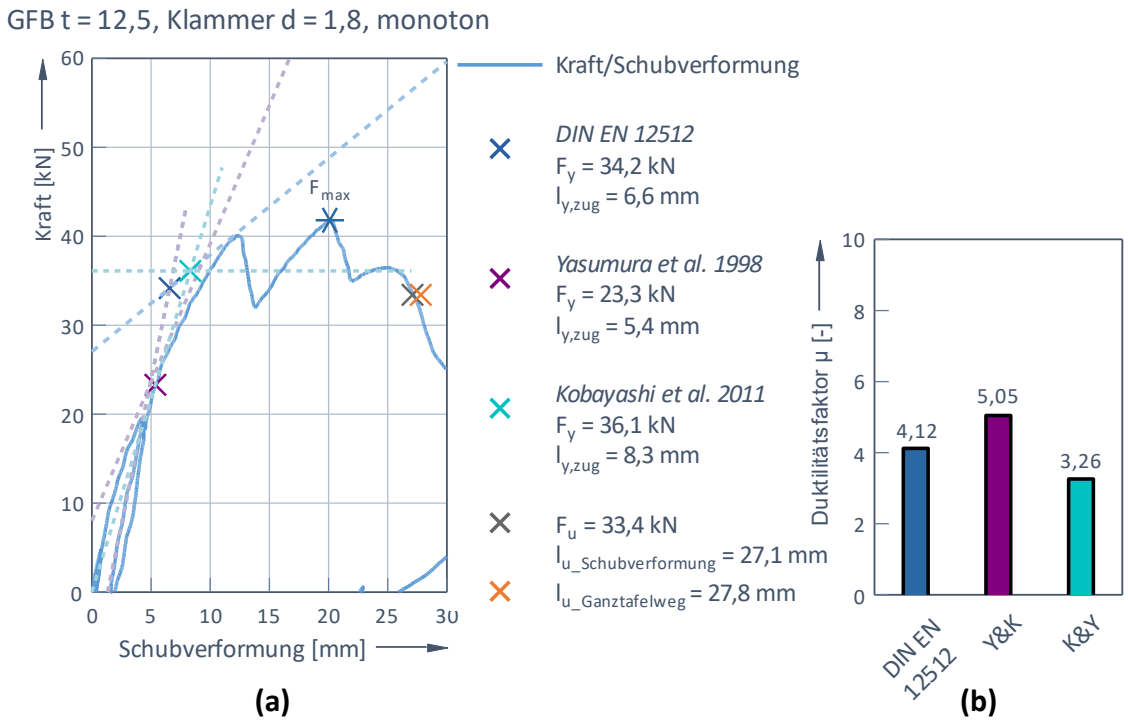


Abbildung B-49: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 03_m_2

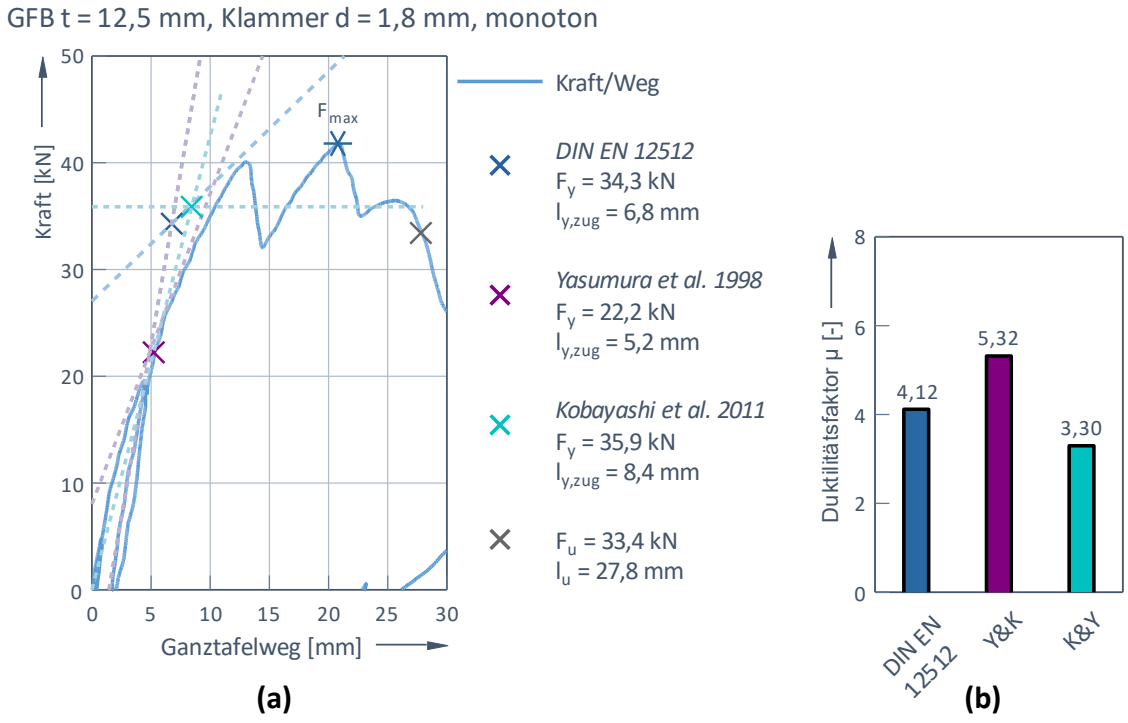


Abbildung B-50: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 03_m_2

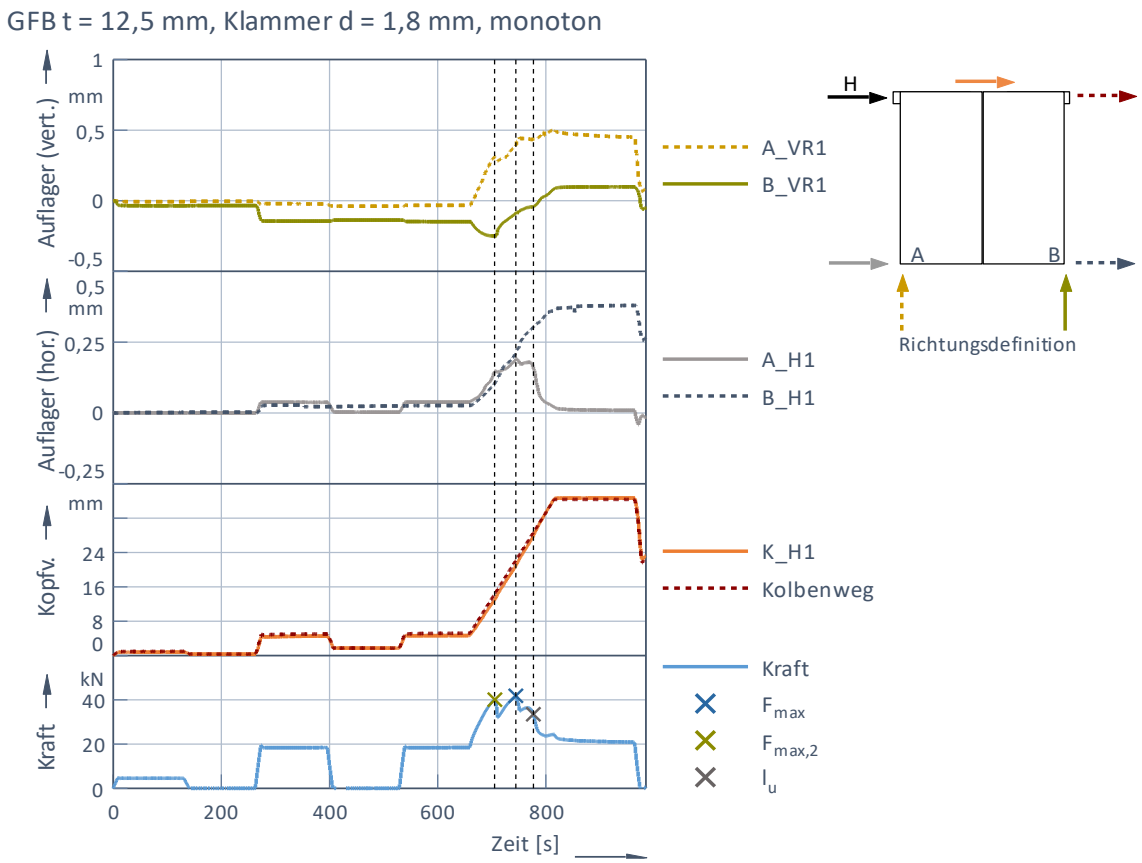


Abbildung B-51: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 03_m_2

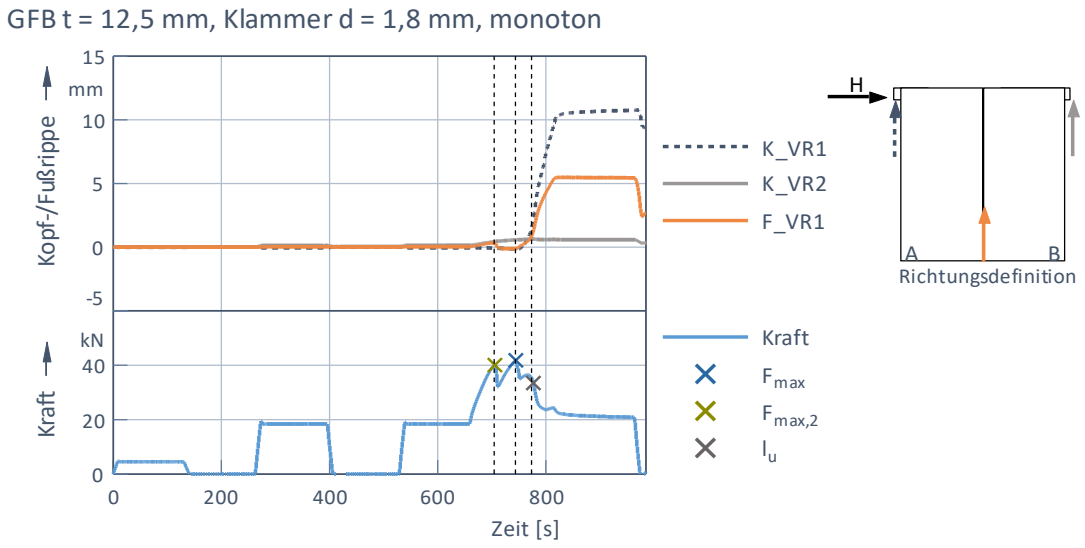


Abbildung B-52: Wegmessungen an Kopf- und Fußrippe; WT 03_m_2

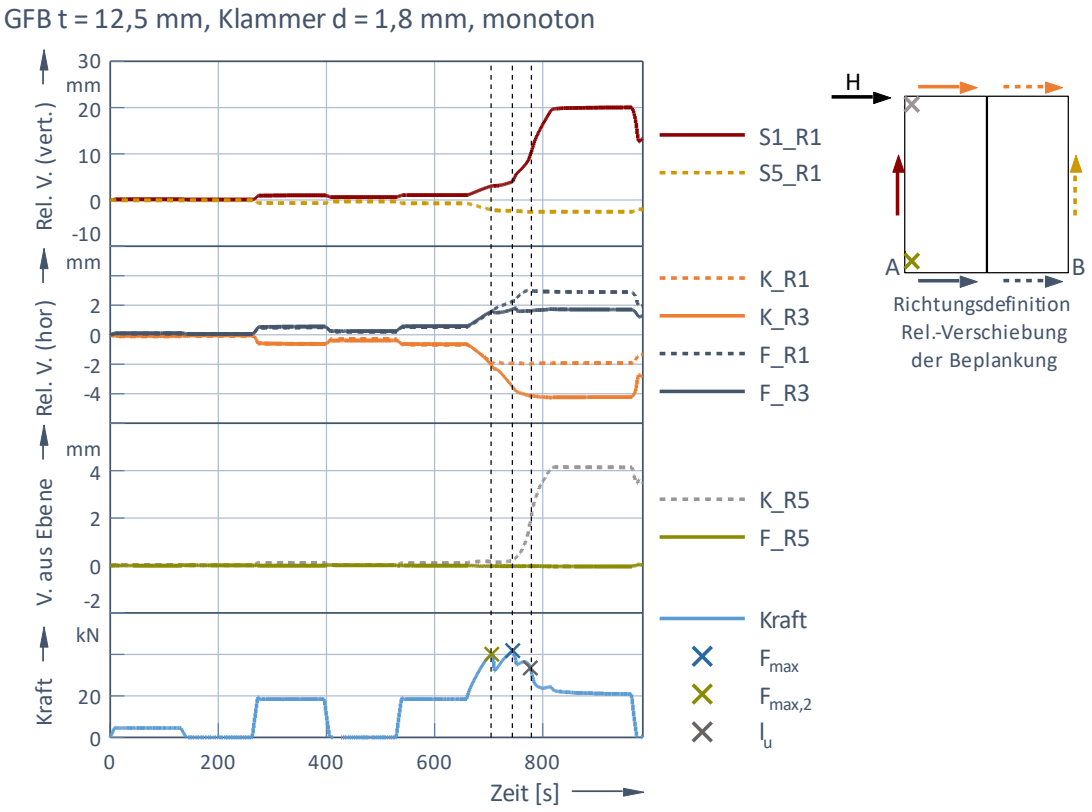


Abbildung B-53: Wegmessungen an Beplankung; WT 03_m_2

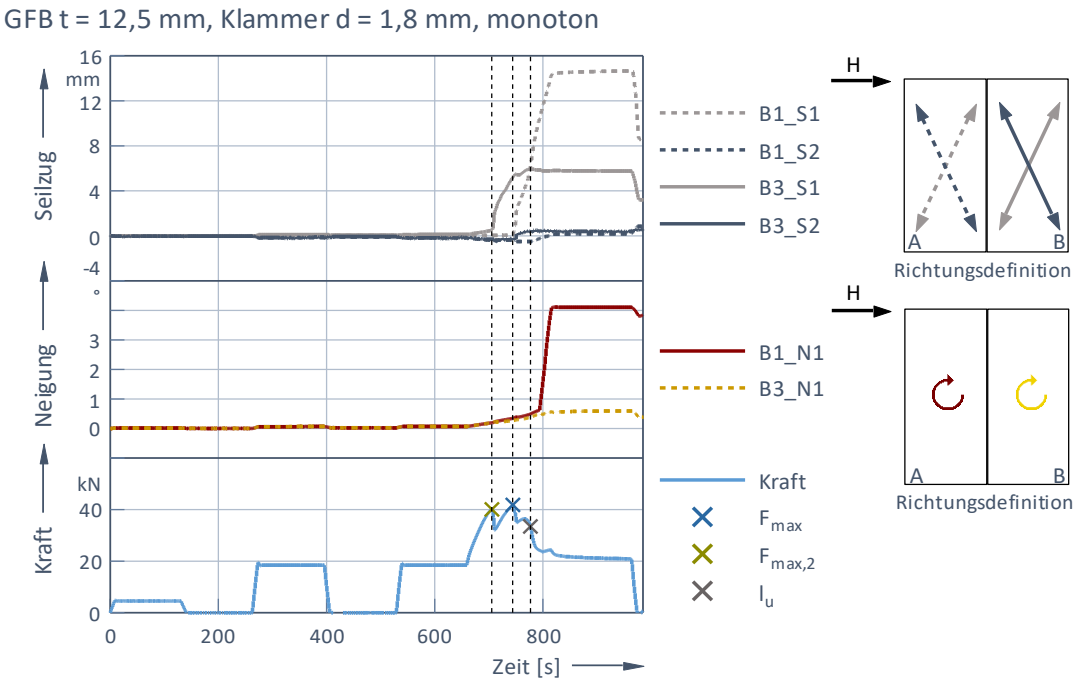


Abbildung B-54: Weg- und Neigungsmessungen an Beplankung; WT 03_m_2

B.6 Wandtafel 04_m_1

Tabelle B-6: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 04_m_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm, KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	Keine	
Bekleidung 2:	Keine	

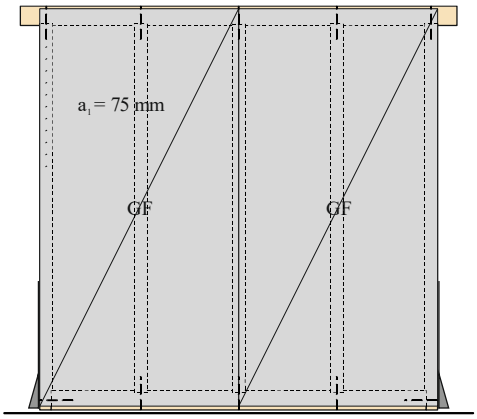


Abbildung B-55: Wandtafel 04_m_1

Untersuchung		
Datum	19.06.2023	
Raumtemperatur T	31,3 °C	
Raumfeuchte R_H	39 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 479 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 502 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 435 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 472 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	13,1 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	62,2 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

Abweichung ISO 21581:

- Grenzverschiebung l_u circa 3 Minuten nach Ende der Vorbelastung erreicht

Während Versuch:

- Erster Riss entsteht bei ungefähr 50 kN an konstruktiver Schraube in der Ecke unten links von Beplankung 1
- Entstehung eines neuen langen Risses entlang der Klammern am unteren Rand der Beplankung 1 zum Zeitpunkt des starken schlagartigen Lastabfalls nach Erreichen der Maximalkraft

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)

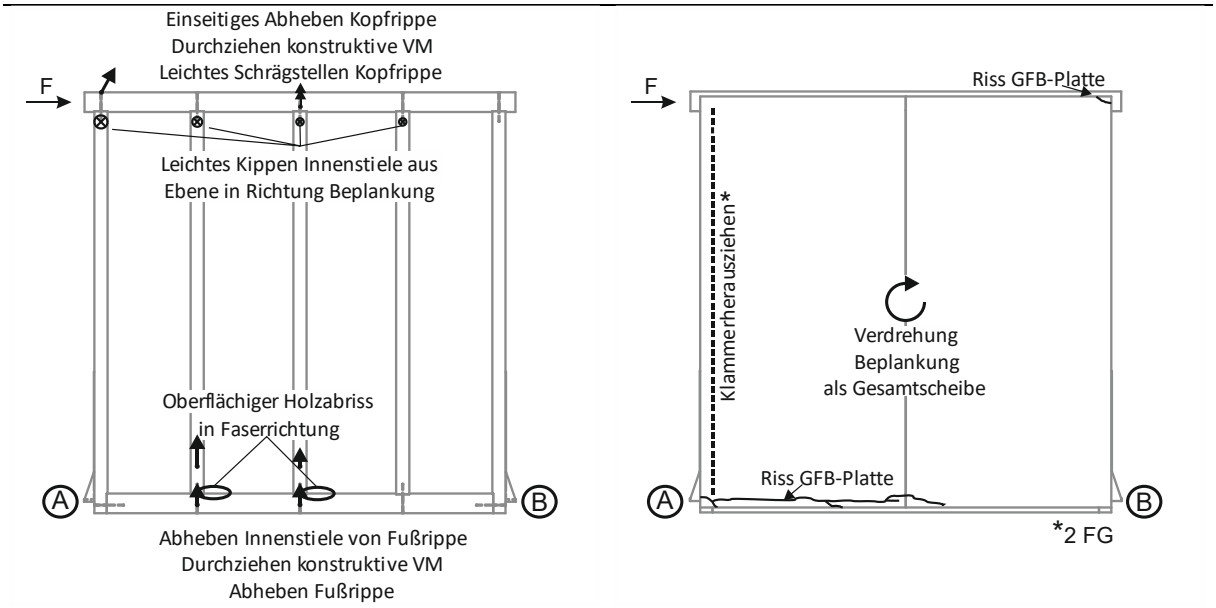


Abbildung B-56: Versagensbilder Rahmen (a) und Beplankung (b); WT 04_m_1

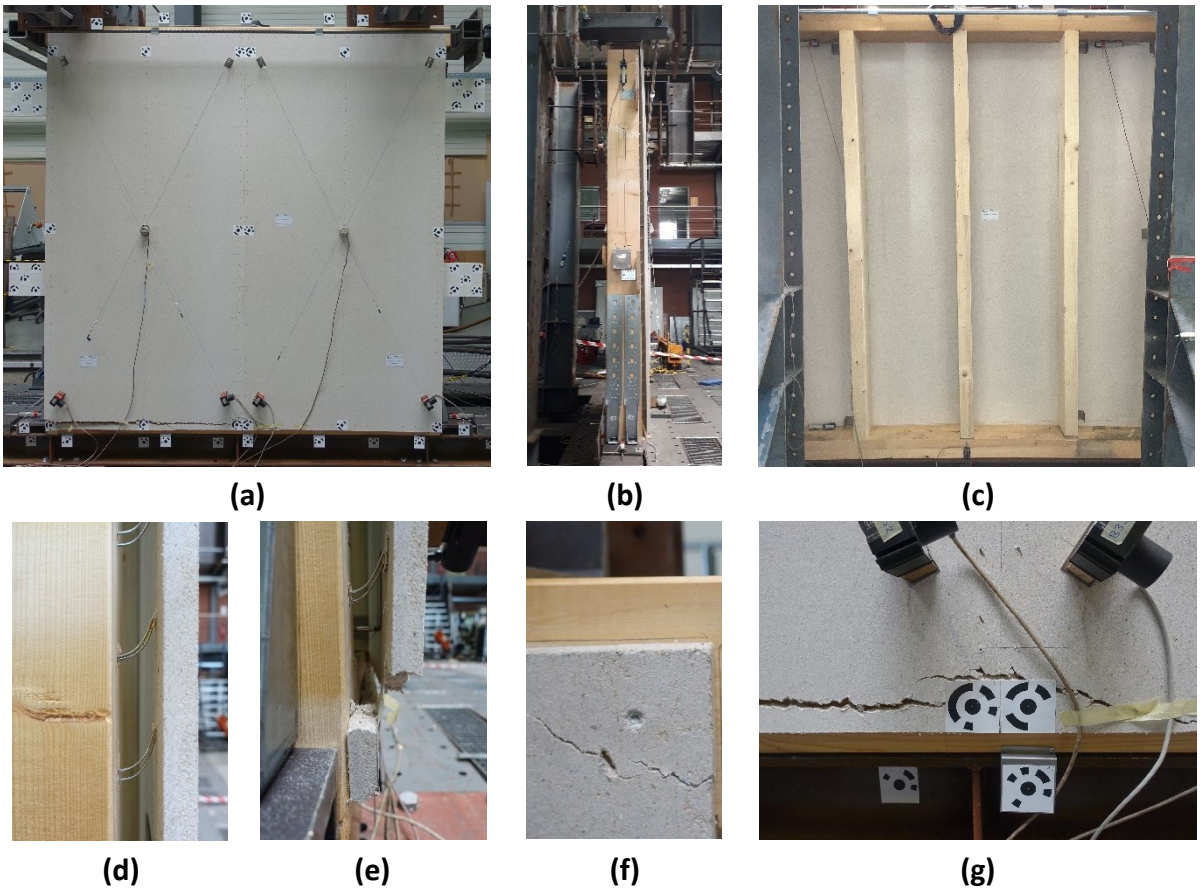


Abbildung B-57: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b), Versagensbild Rückseite (c), Herausziehen Klammern und Ablösen Beplankung (d), Rissbildung auf Beplankung 1 und 2 (e-g); WT 04_m_1

Untersuchungsergebnisse

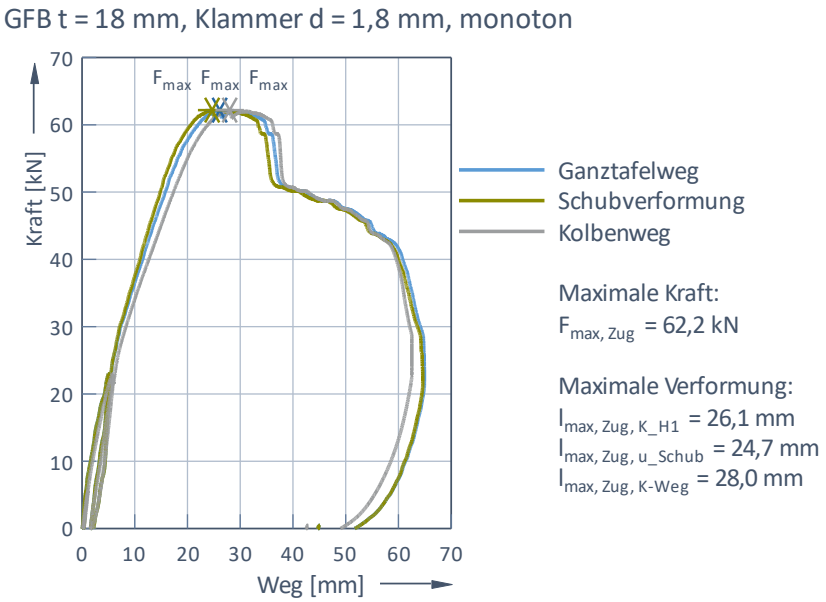


Abbildung B-58: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 04_m_1

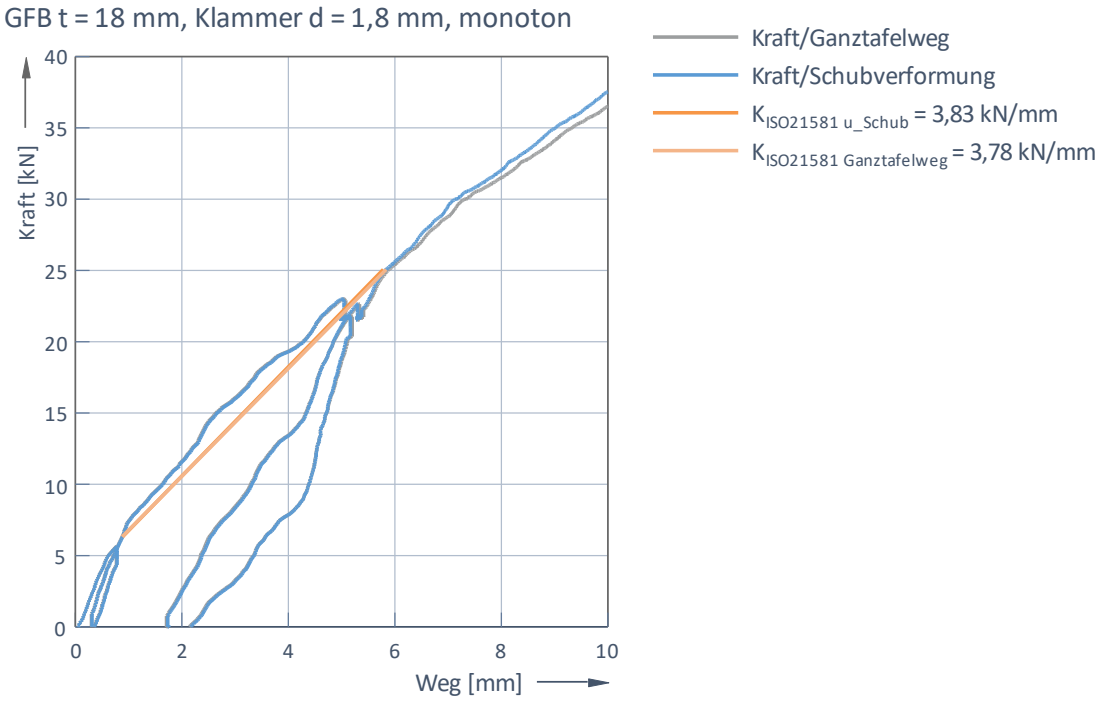


Abbildung B-59: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 04_m_1

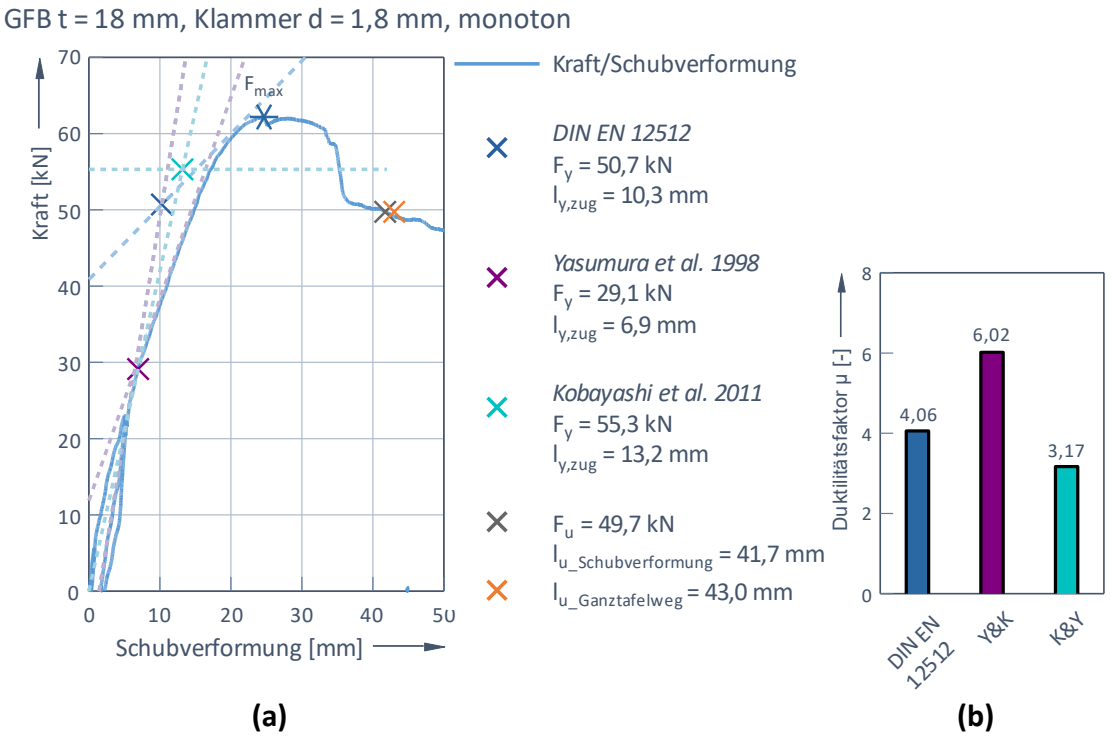


Abbildung B-60: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 04_m_1

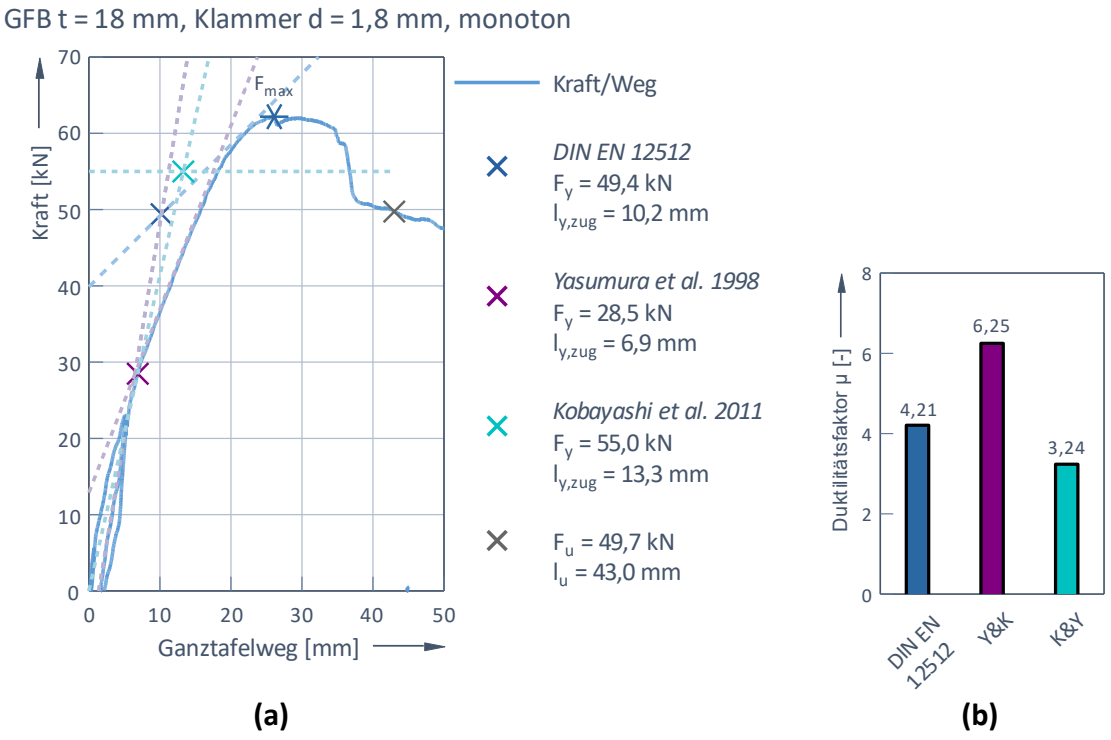


Abbildung B-61: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 04_m_1

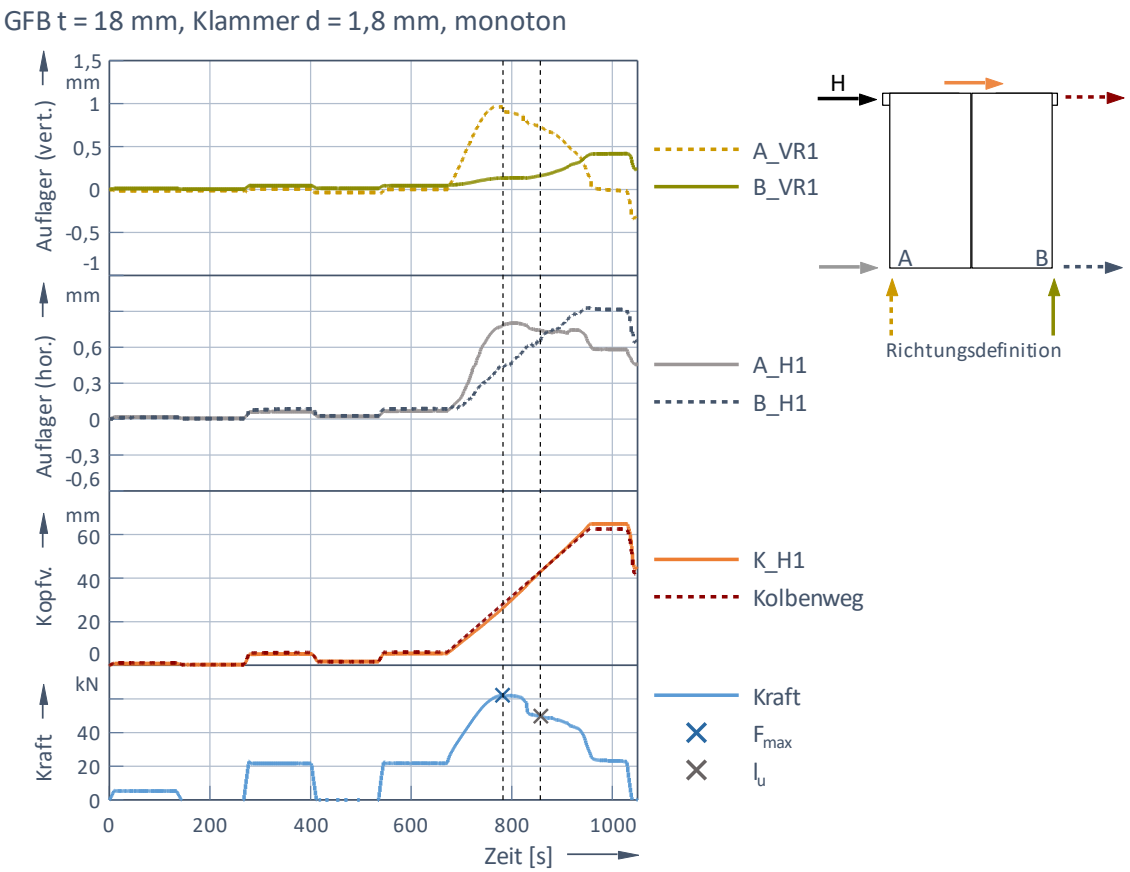


Abbildung B-62: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 04_m_1

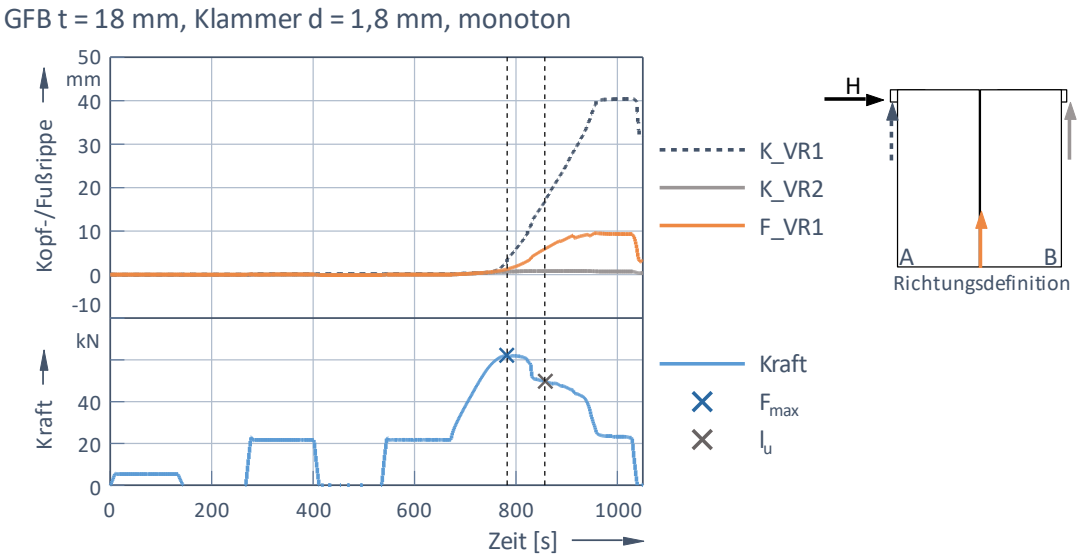


Abbildung B-63: Wegmessungen an Kopf- und Fußrippe; WT 04_m_1

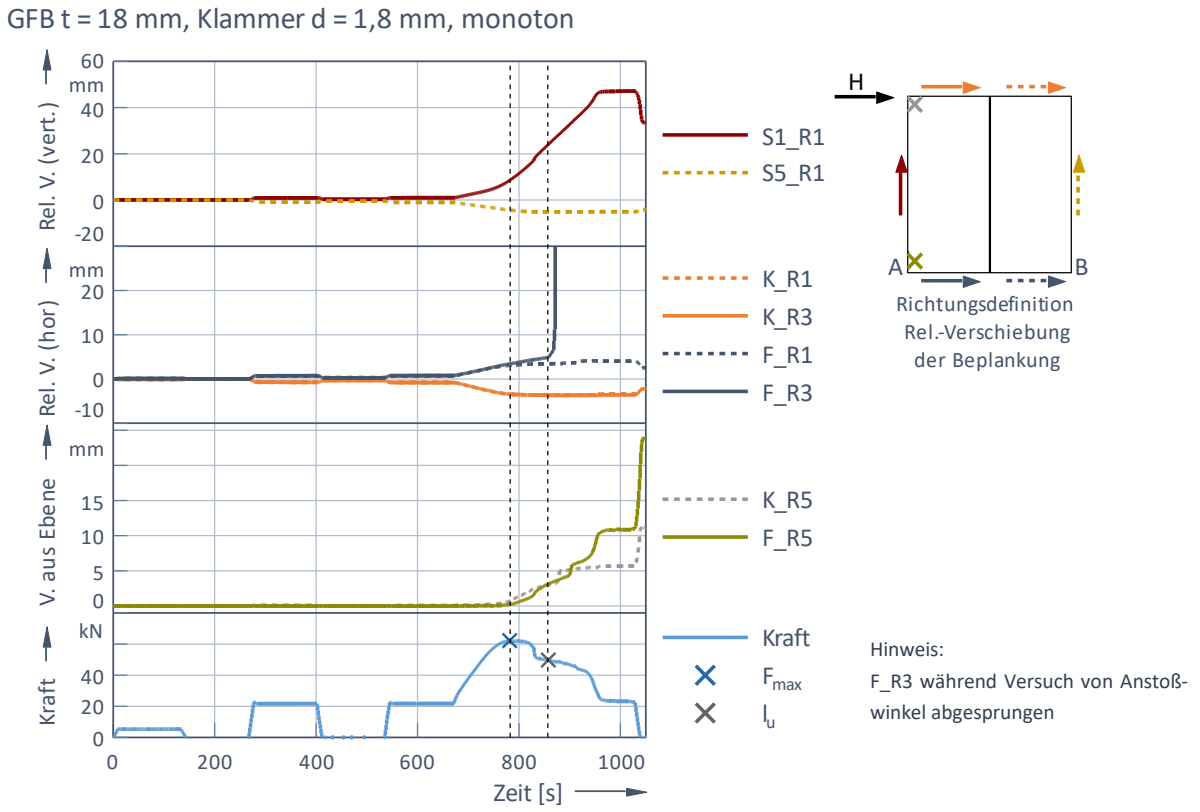


Abbildung B-64: Wegmessungen an Beplankung; WT 04_m_1

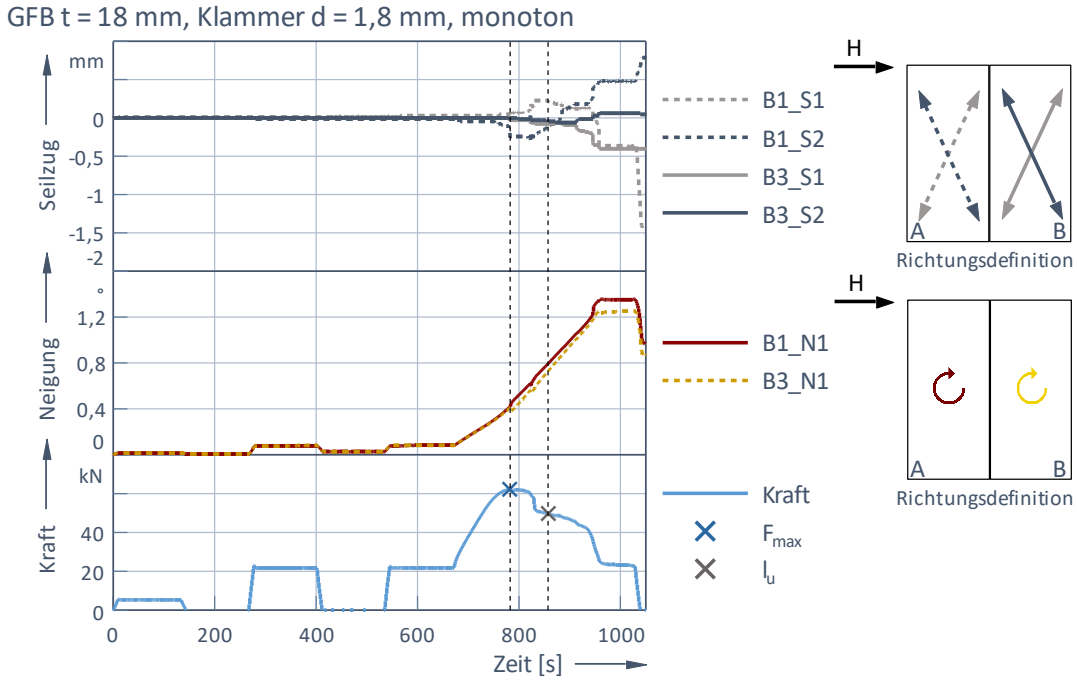


Abbildung B-65: Weg- und Neigungsmessungen an Beplankung; WT 04_m_1

B.7 Wandtafel 05_m_1

Tabelle B-7: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 05_m_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	OSB/3, t = 15 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 12,5 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	Keine	

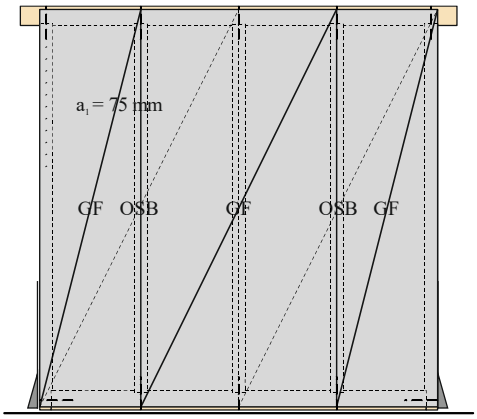


Abbildung B-66: Wandtafel 05_m_1

Untersuchung		
Datum	07.06.2023	
Raumtemperatur T	k.A.	
Raumfeuchte R_H	k.A.	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 529 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 474 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 433 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 479 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	14,6 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	94,3 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

Abweichung ISO 21581:

- Überschätzung der Tragfähigkeit: Vorbelastung mit 0,62 F_{max} statt 0,40 F_{max}
- Grenzverschiebung l_u circa 3,3 Minuten nach Ende der Vorbelastung erreicht

Wandtafel:

- Klammerung von Beplankung und Bekleidung an Fußrippe ohne Versatz

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)

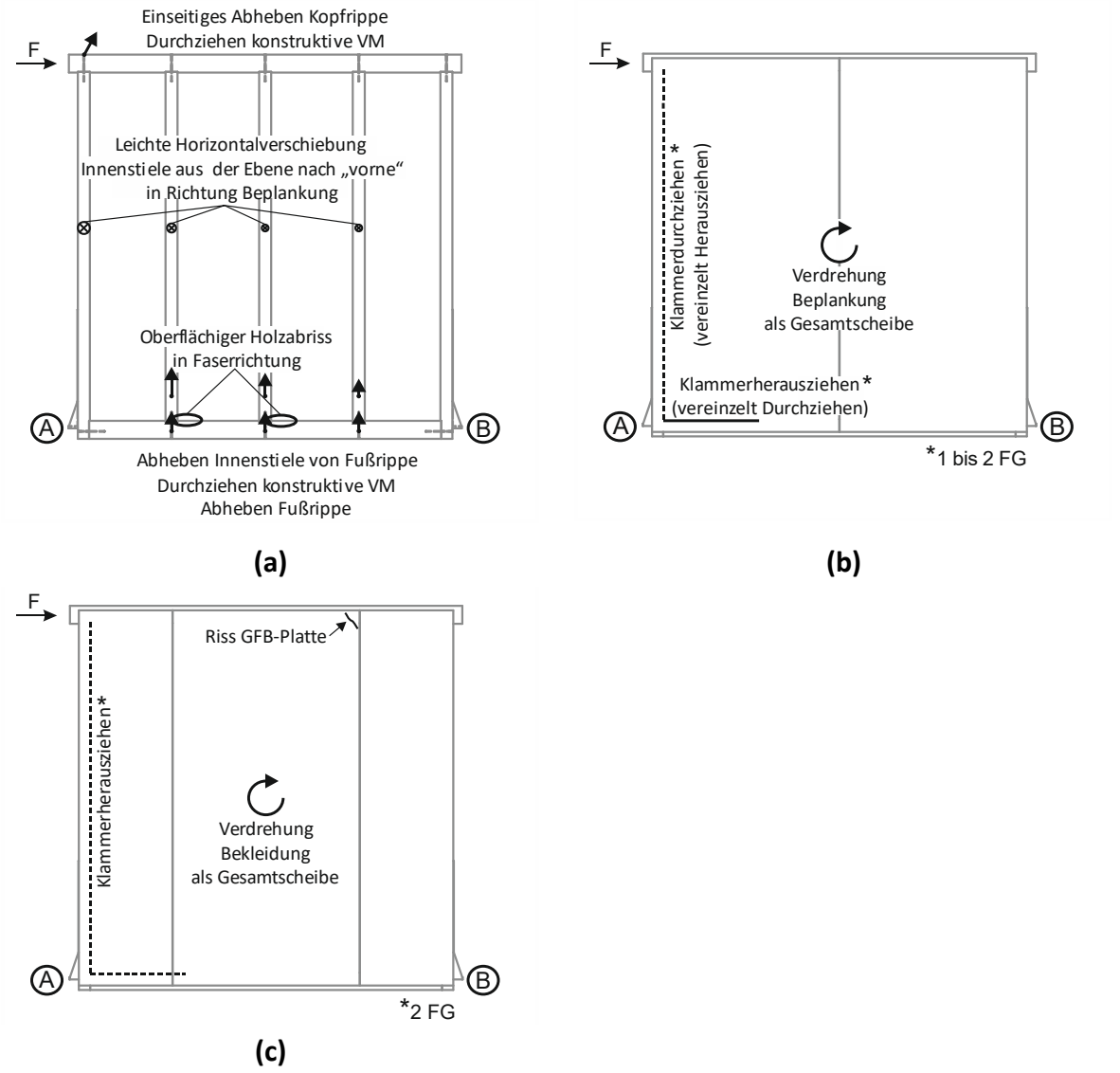


Abbildung B-67: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung (c); WT 05_m_1



(a) **(b)** **(c)**

Abbildung B-68: Versagensbild Vorderseite (a) und (c), Seitenansicht Stiel 1 (b); WT 05_m_1

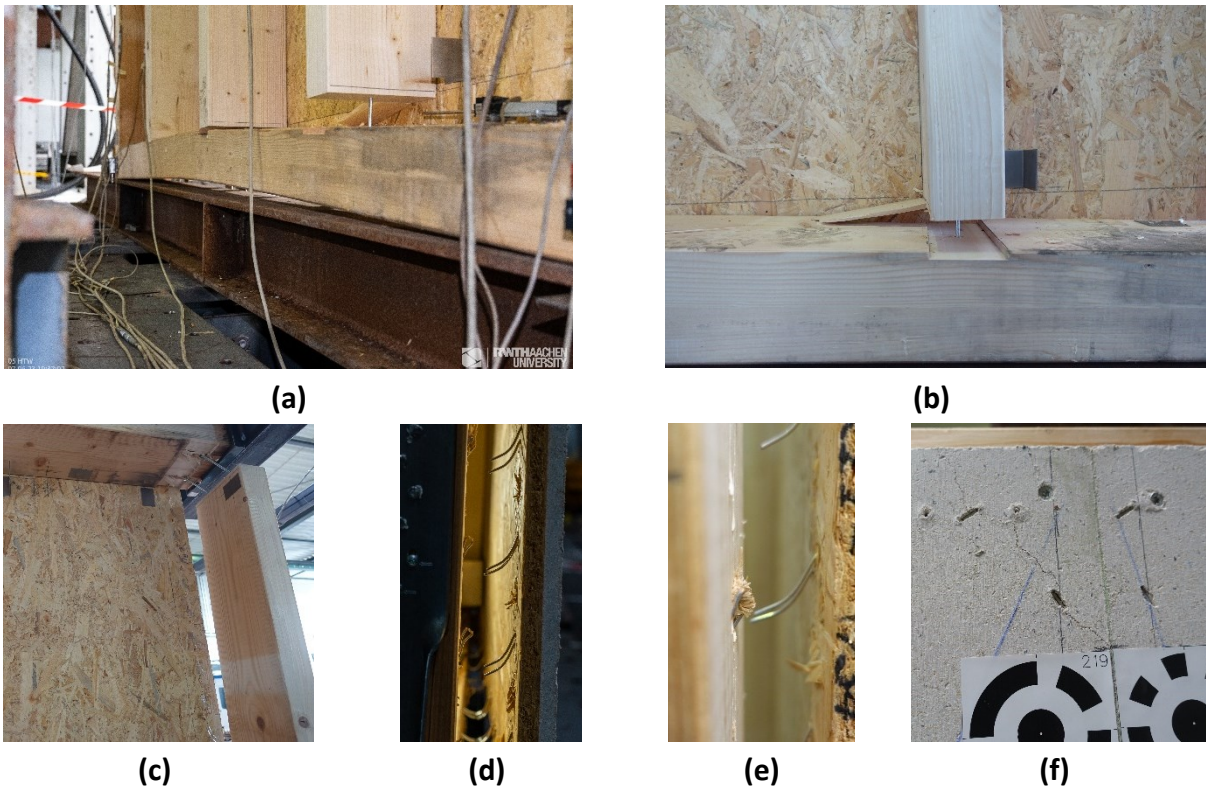


Abbildung B-69: Abheben Innenstiele und Fußrippe (a), Holzabriss an Fußrippe (b), Durchziehen konstruktive Verbindungsmittel Stiel 1 (c), Durchziehen Beplankungsklammern und Herausziehen Bekleidungsklammern (d-e), Diagonalriss in Bekleidung 1 (f); WT 05_m_1

Untersuchungsergebnisse

OSB t = 15 mm, GFB t = 12,5 mm, Klammer d = 1,8 mm, monoton

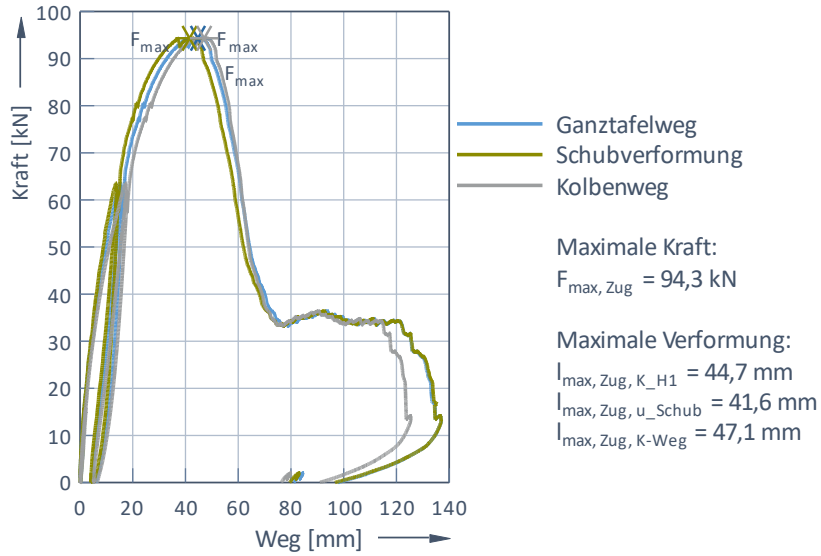


Abbildung B-70: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 05_m_1

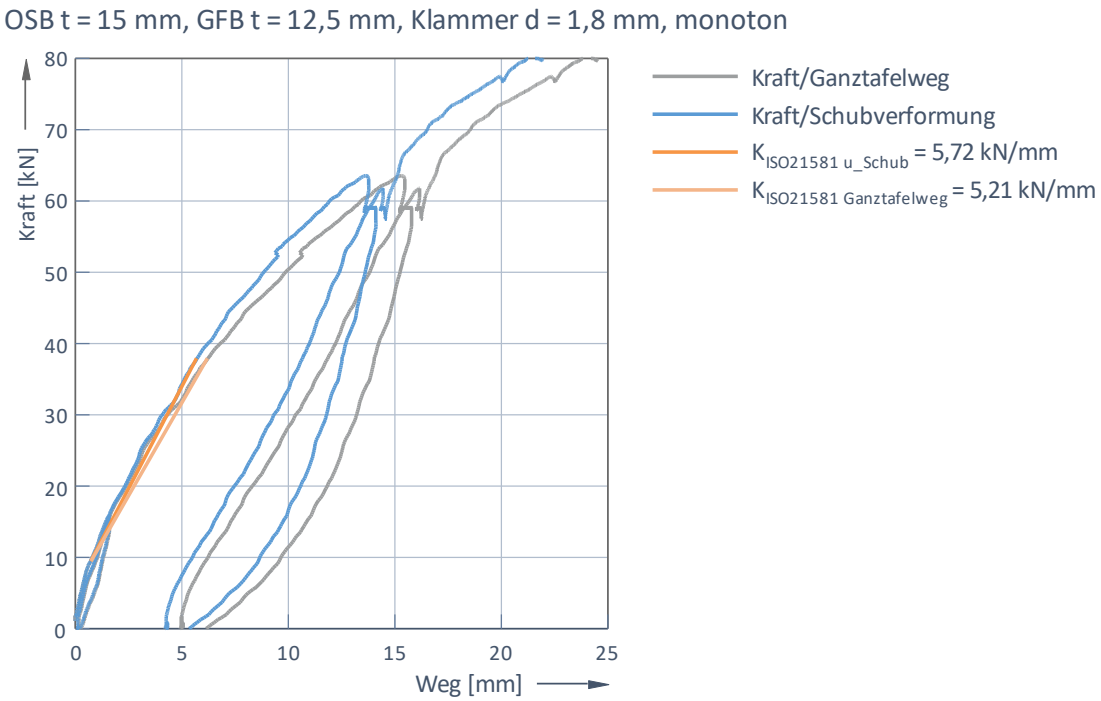


Abbildung B-71: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 05_m_1

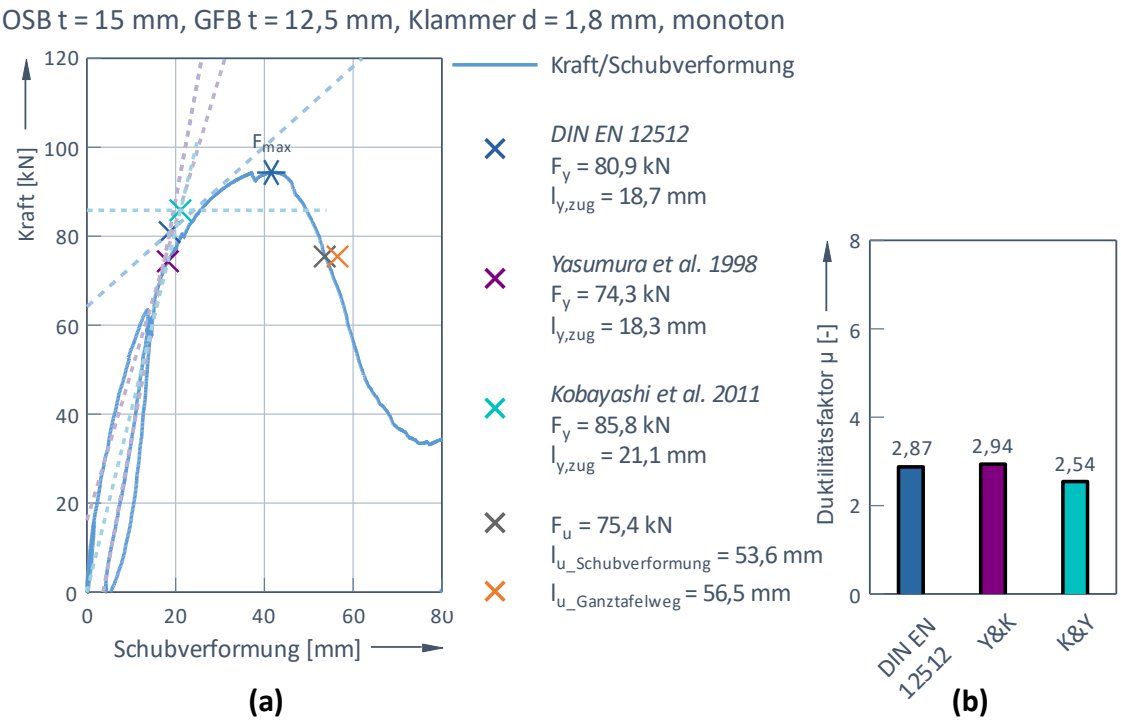


Abbildung B-72: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 05_m_1

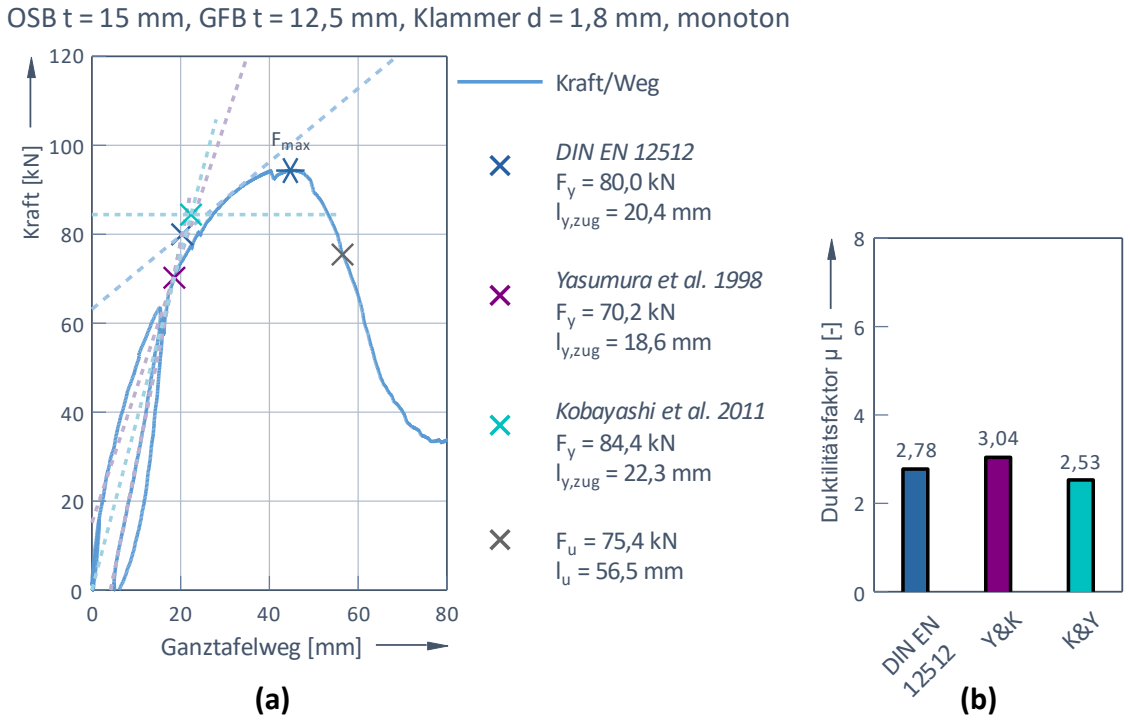


Abbildung B-73: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 05_m_1

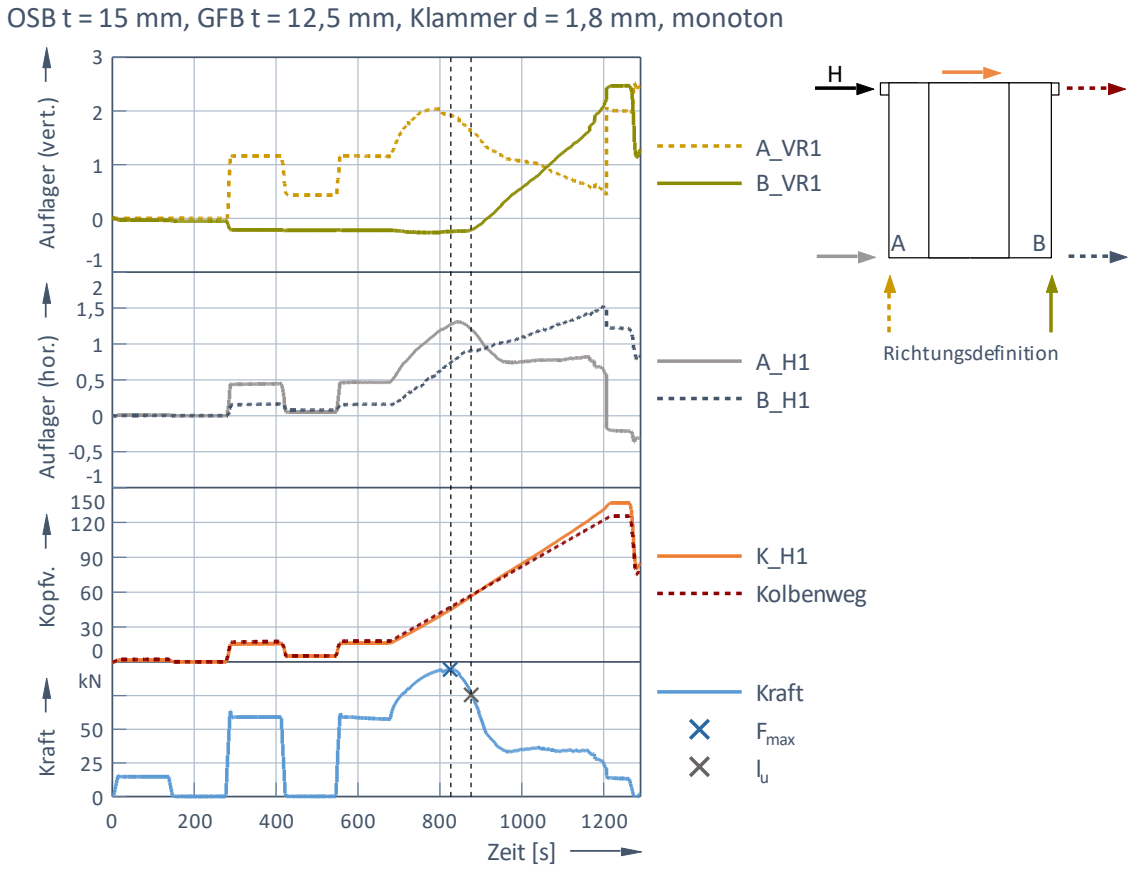


Abbildung B-74: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 05_m_1

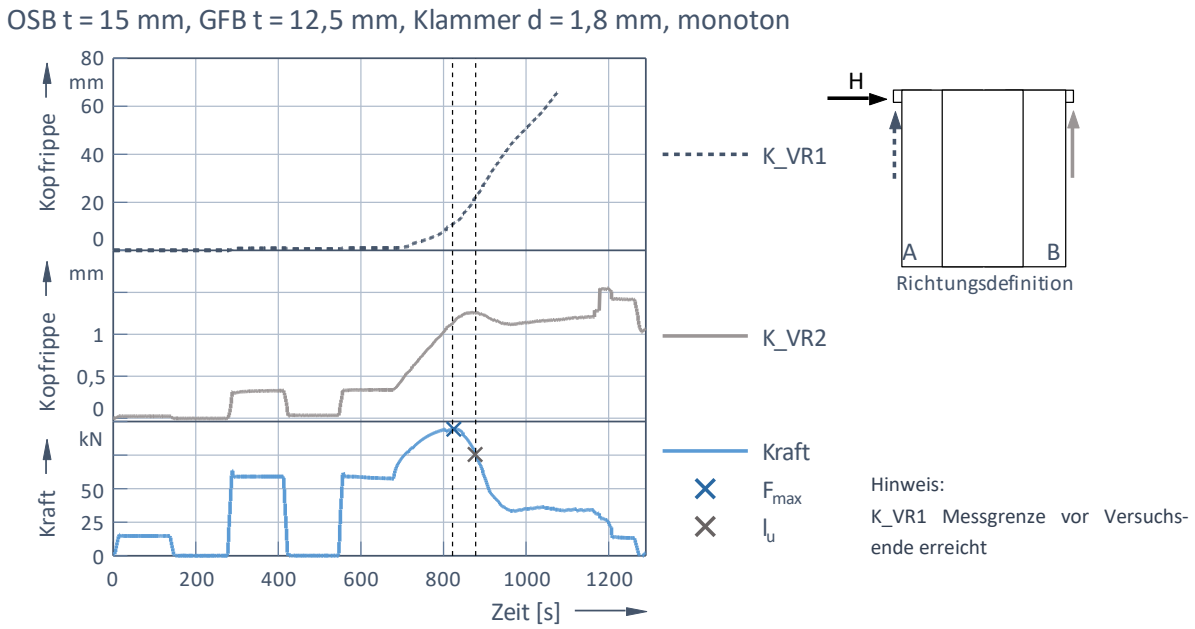


Abbildung B-75: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 05_m_1

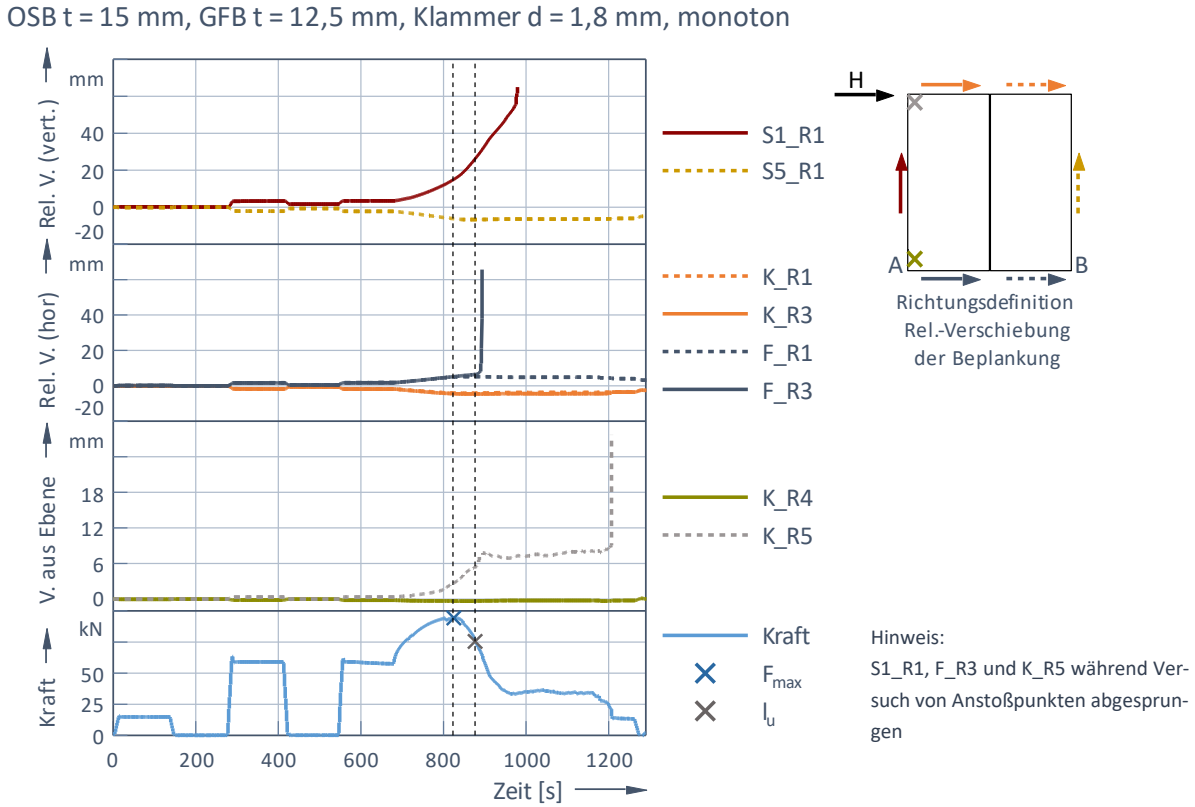


Abbildung B-76: Wegmessungen an Beplankung; WT 05_m_1

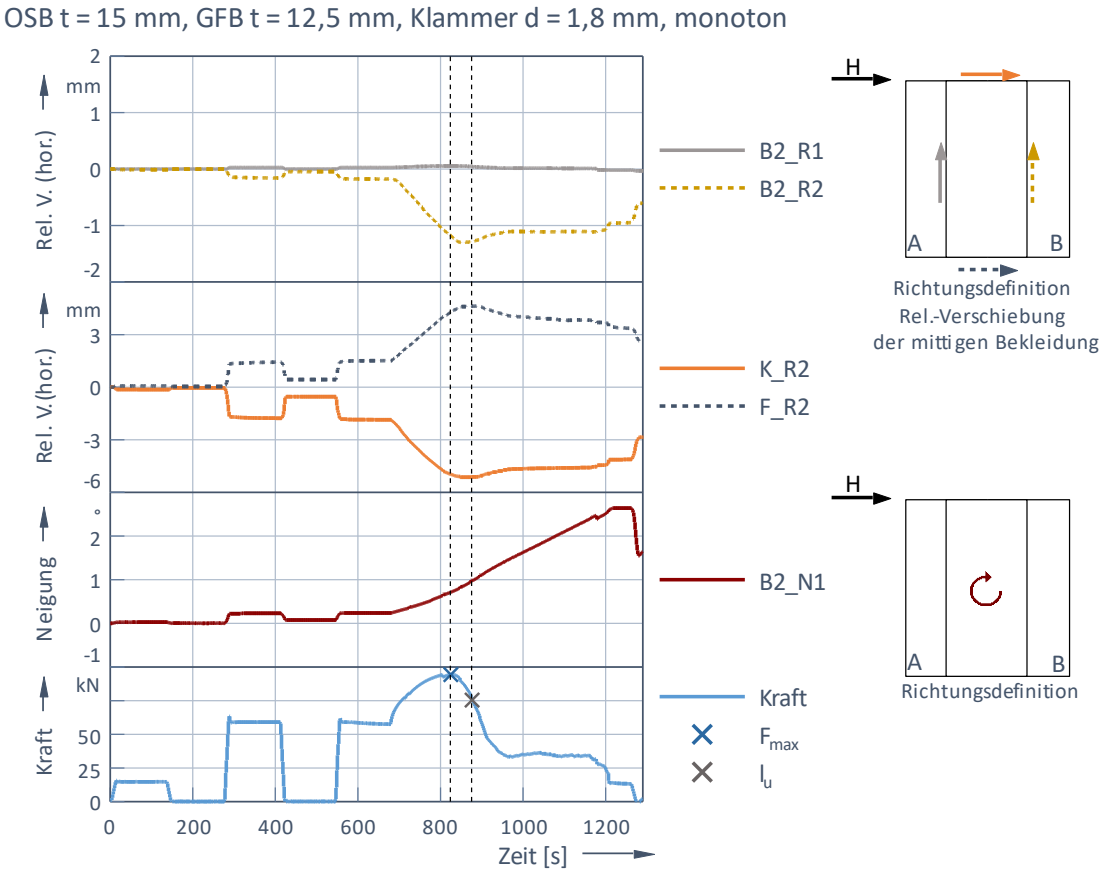


Abbildung B-77: Weg- und Neigungsmessungen an Bekleidung; WT 05_m_1

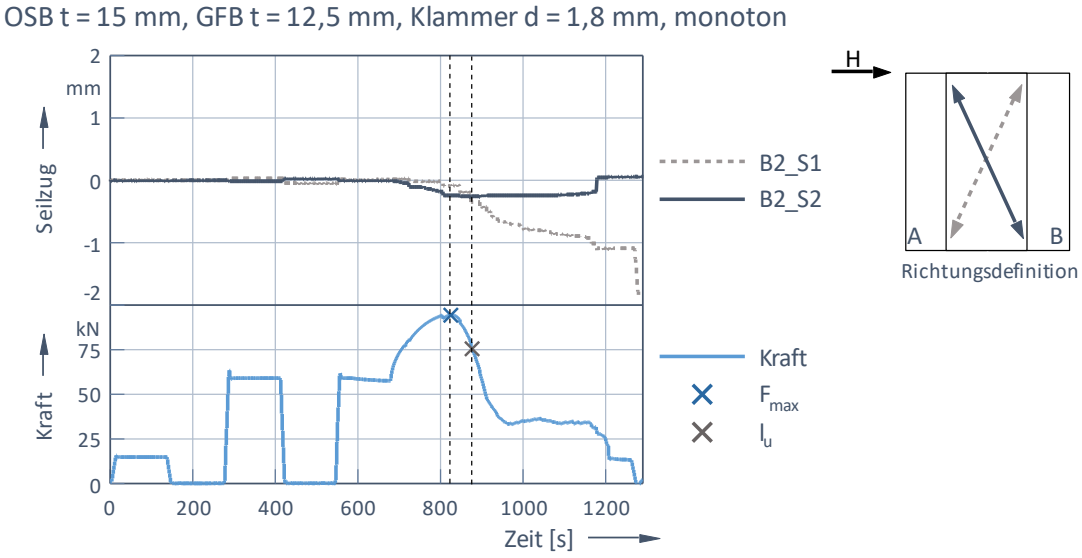


Abbildung B-78: Diagonale Wegmessungen an Bekleidung; WT 05_m_1

B.8 Wandtafel 05_m_2

Tabelle B-8: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 05_m_2

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	OSB/3, t = 15 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 12,5 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	Keine	

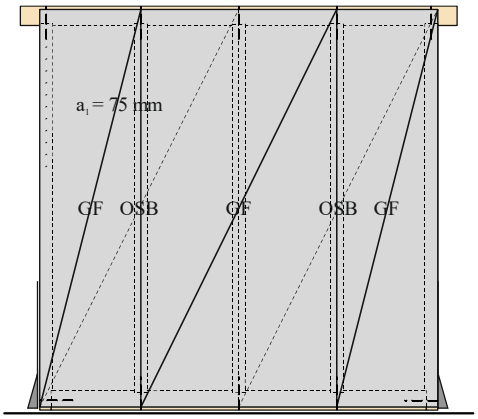


Abbildung B-79: Wandtafel 05_m_2

Untersuchung		
Datum	21.06.2023	
Raumtemperatur T	29,6 °C	
Raumfeuchte R_H	46 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 456 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 559 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 487 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 501 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	15,6 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	96,8 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

Während Versuch:

- Diagonalriss in GFB-Bekleidung 3 tritt vor Erreichen der Maximalkraft auf
- Signifikante Öffnung der Fuge zwischen Rahmen und Beplankung bei Entlastung der Wandtafel nach Tragfähigkeitsprüfung

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)

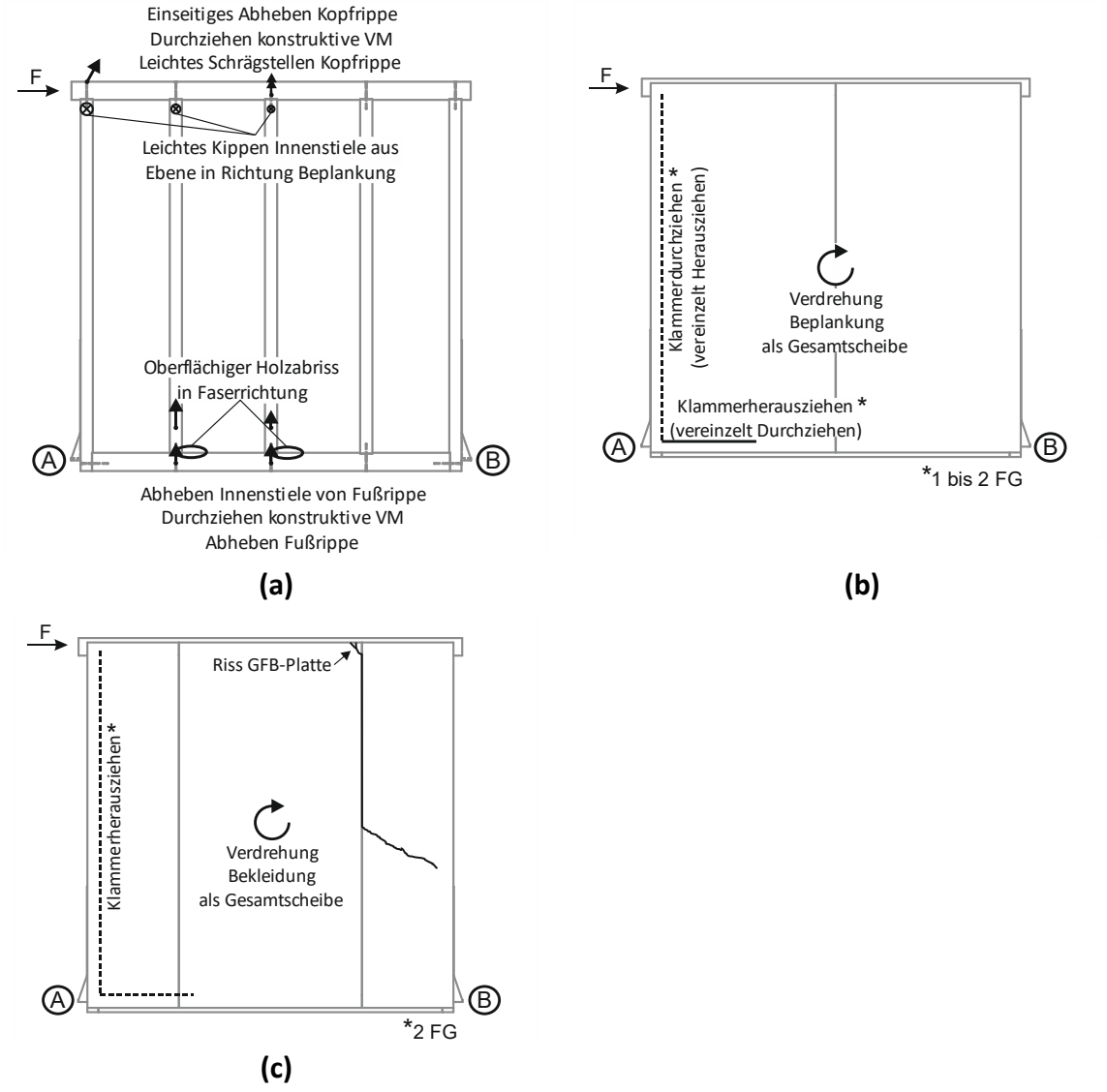
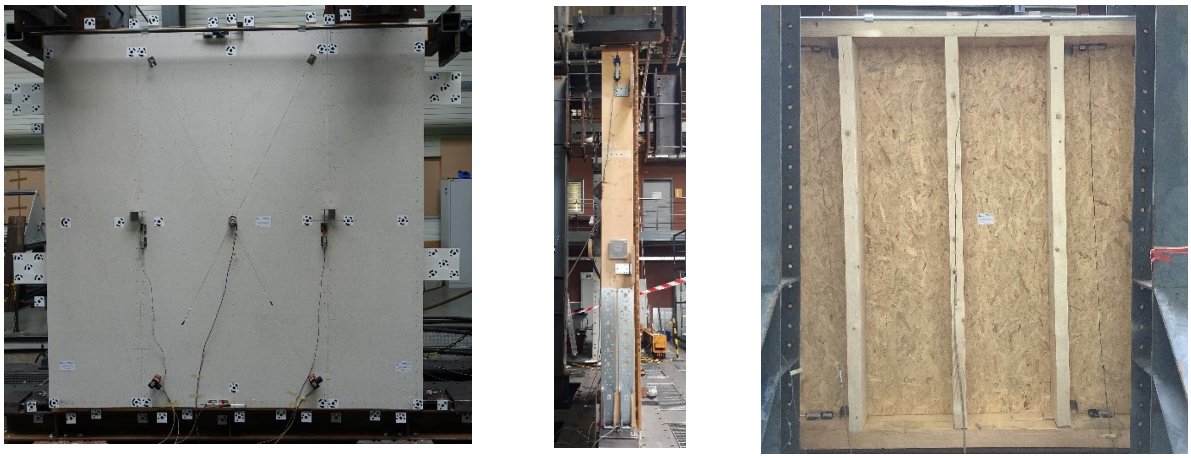


Abbildung B-80: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung (c); WT 05_m_2



(a) **(b)** **(c)**

Abbildung B-81: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 05_m_2

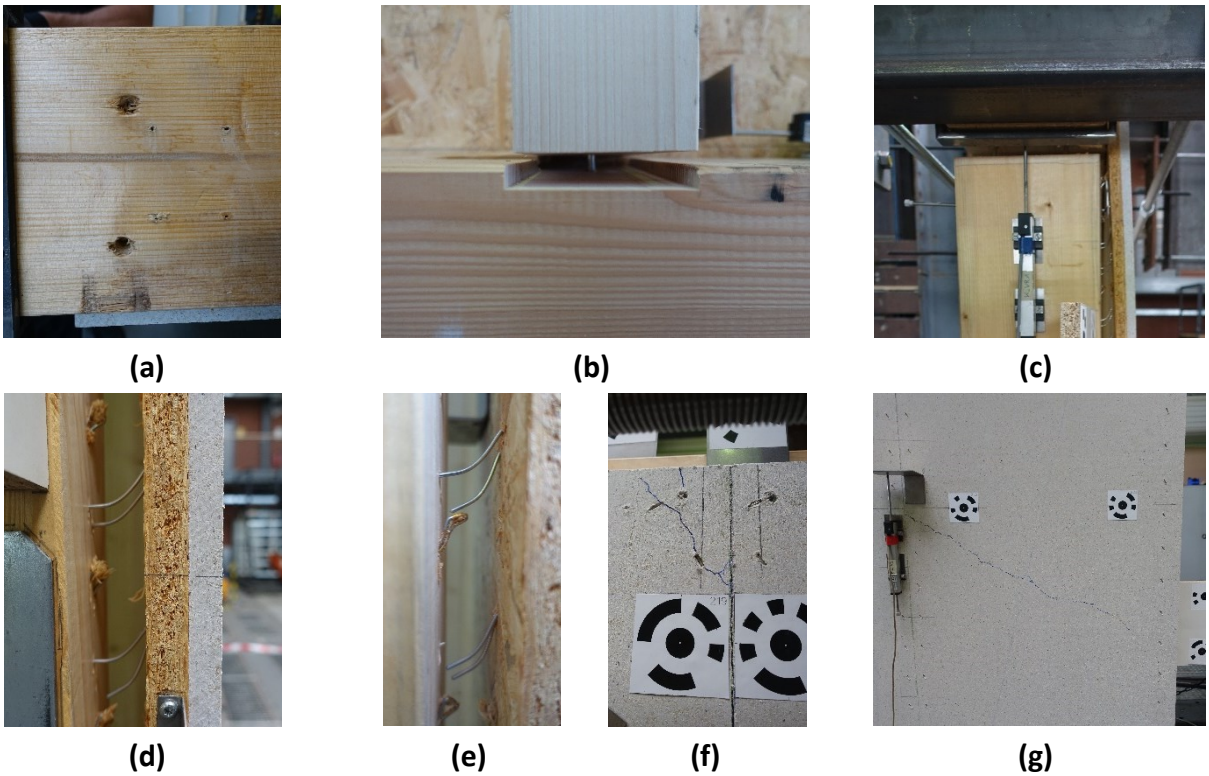


Abbildung B-82: Durchziehen konstruktive Schrauben Kopfrippe (a), Abheben Stiel S2 (b), Abheben und Schrägstellen Kopfrippe (c), Durchziehen Beplankungsklammern und Herausziehen Bekleidungsklammern (d-e), Eckriss GFB in Bekleidung 1 (f), Diagonalriss GFB in Bekleidung 2 (g); WT 05_m_2

Untersuchungsergebnisse

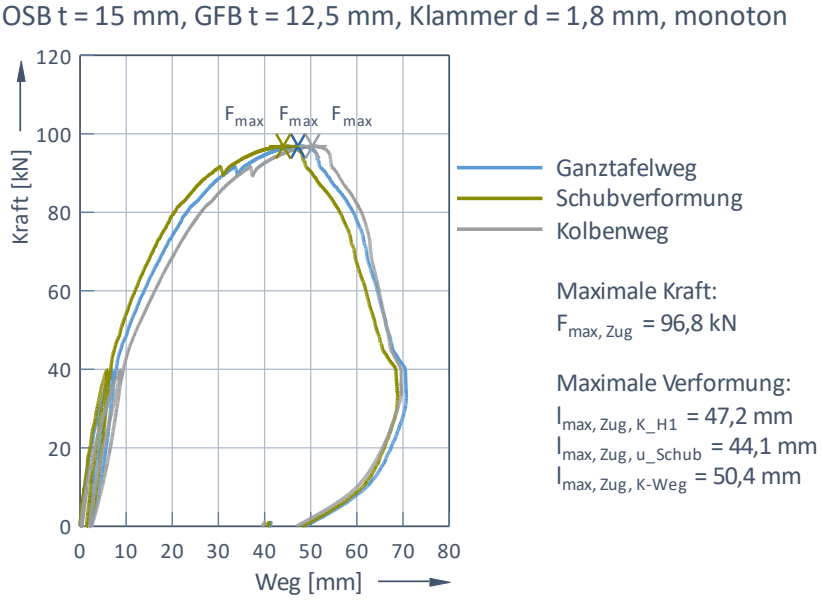


Abbildung B-83: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 05_m_2

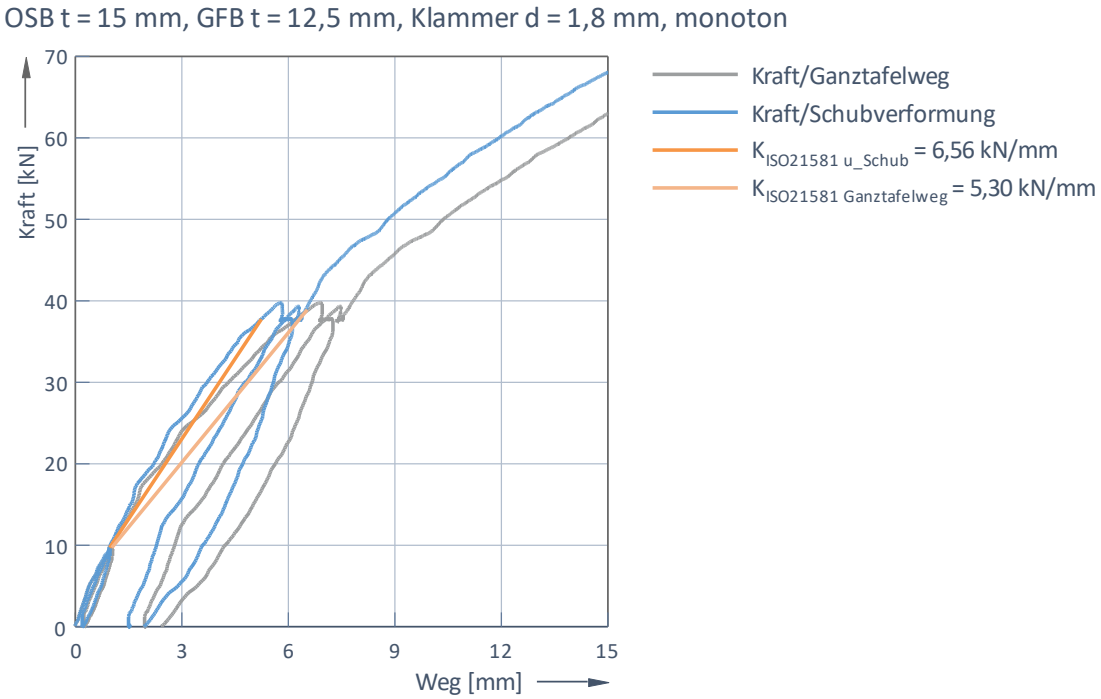


Abbildung B-84: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 05_m_2

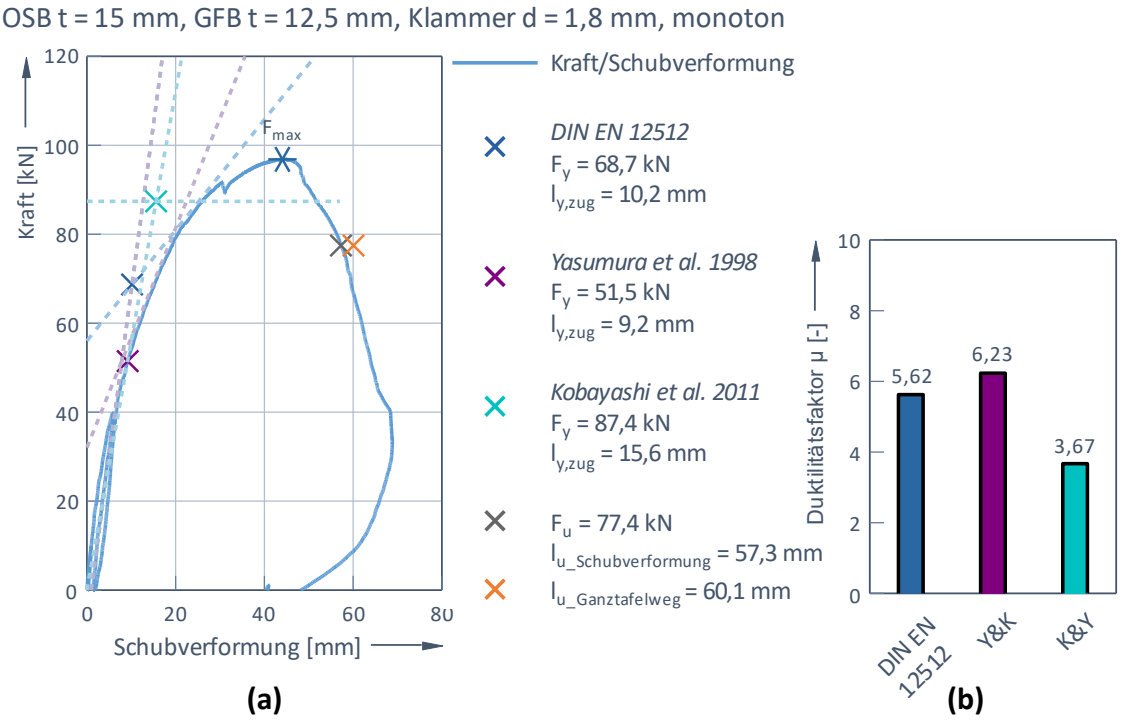


Abbildung B-85: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 05_m_2

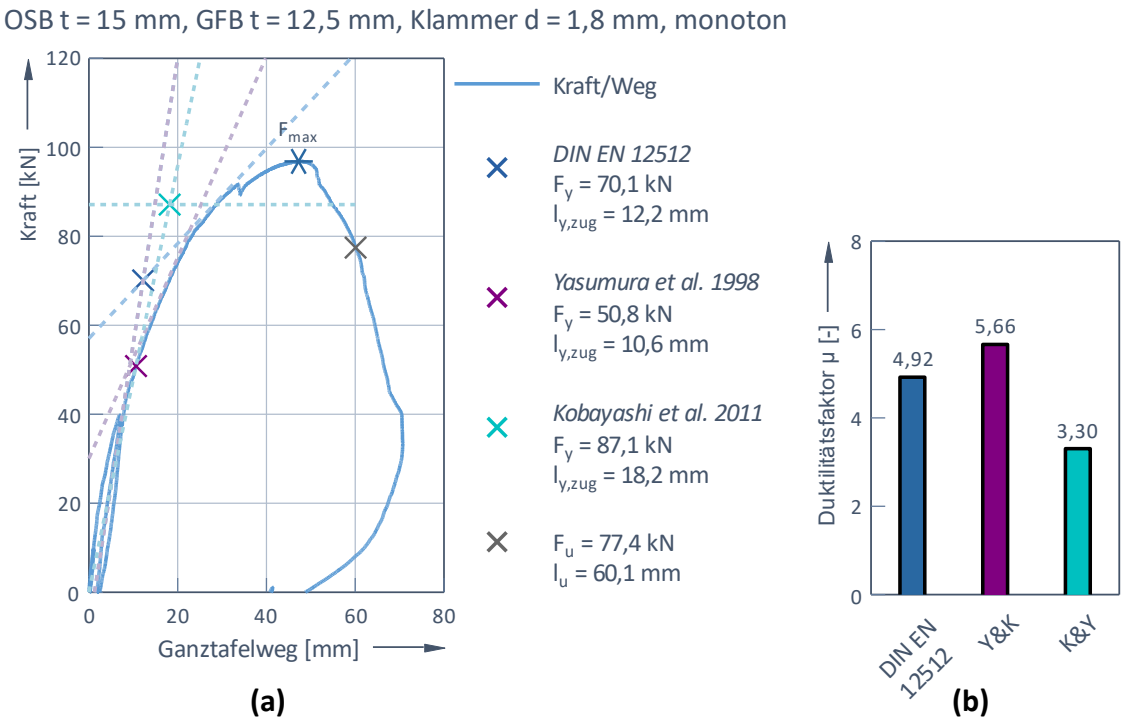


Abbildung B-86: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 05_m_2

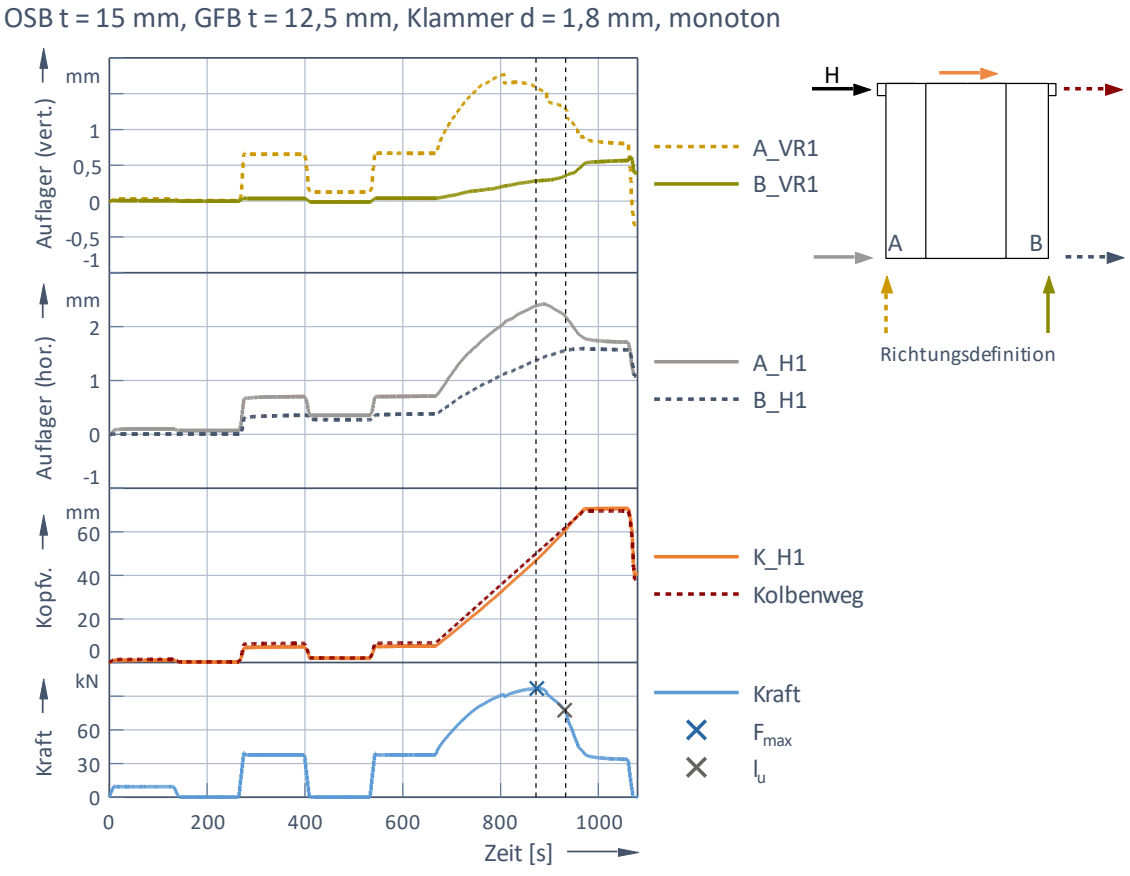


Abbildung B-87: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 05_m_2

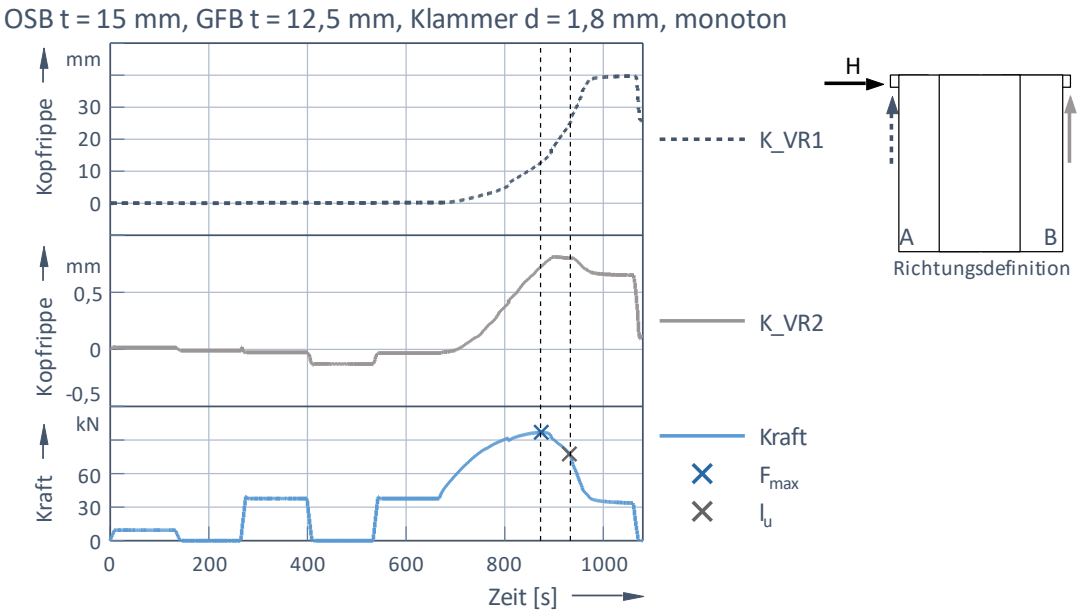


Abbildung B-88: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 05_m_2

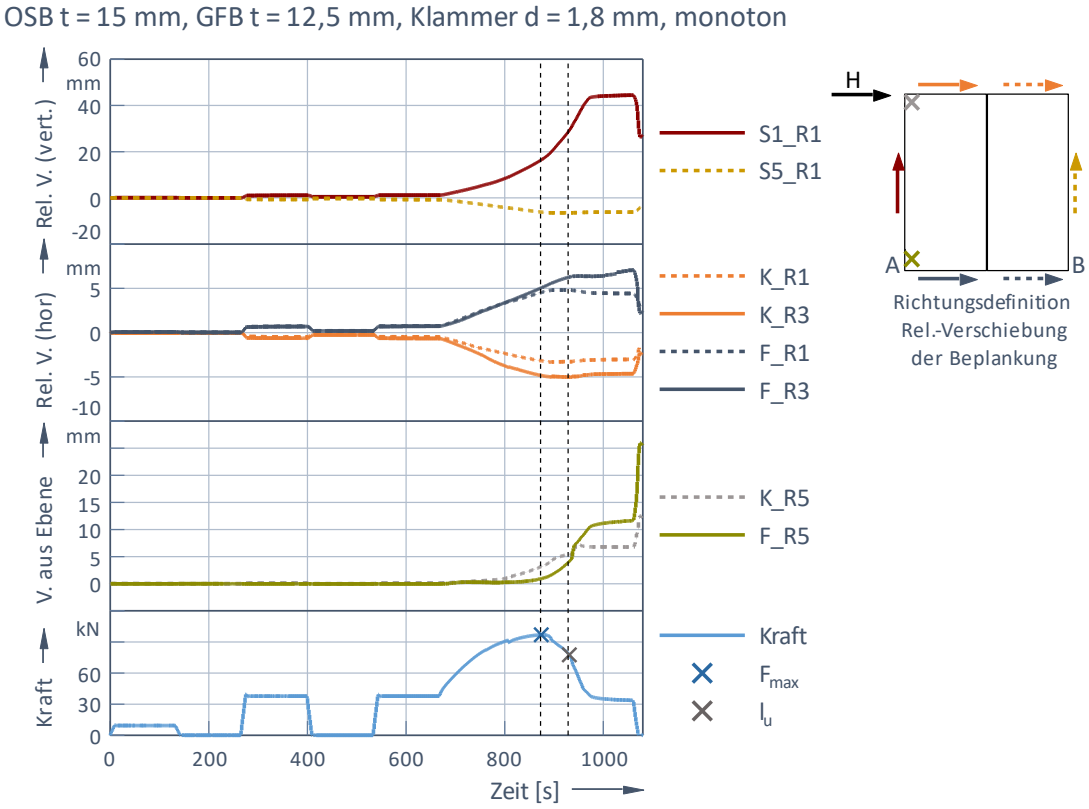


Abbildung B-89: Wegmessungen an Beplankung; WT 05_m_2

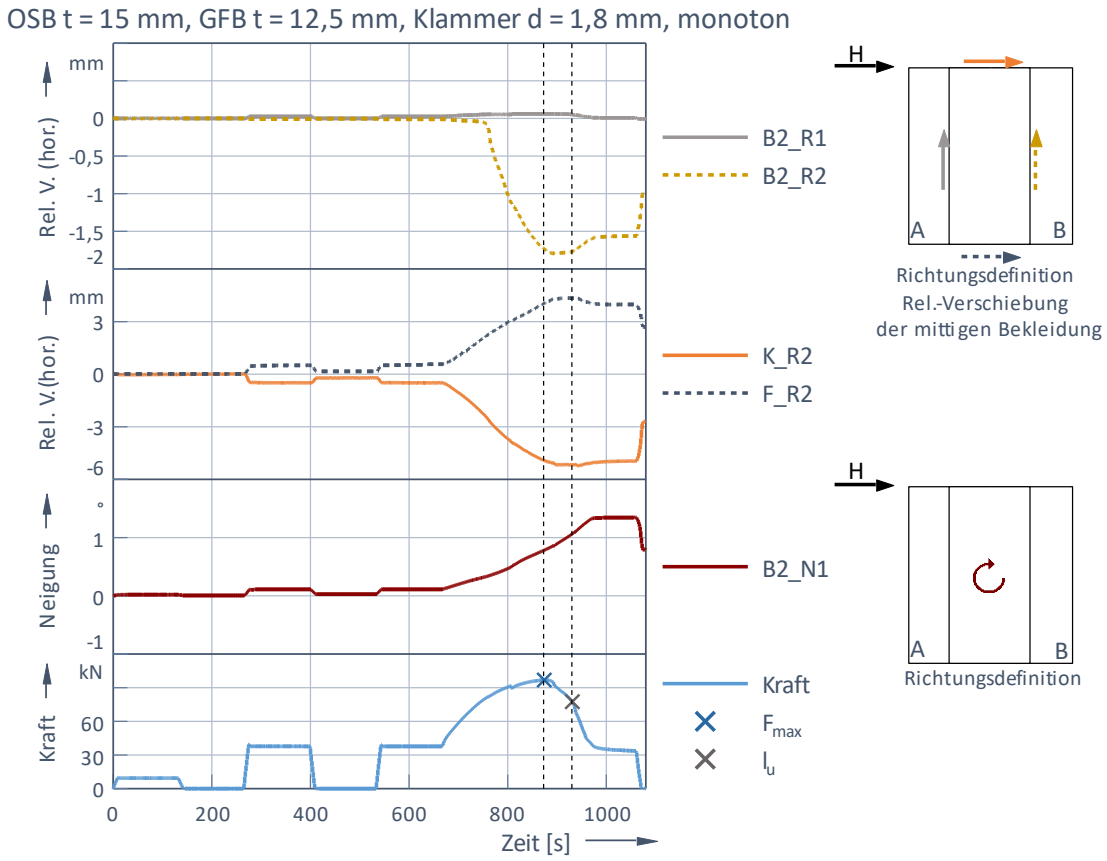


Abbildung B-90: Weg- und Neigungsmessungen an Bekleidung; WT 05_m_2

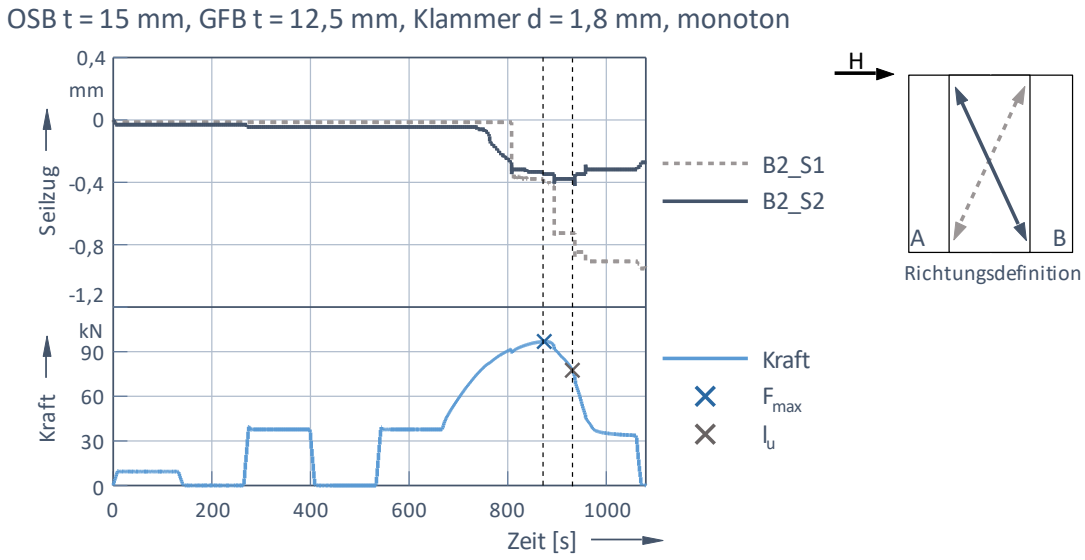


Abbildung B-91: Diagonale Wegmessungen an Bekleidung; WT 05_m_2

B.9 Wandtafel 06_m_1

Tabelle B-9: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 06_m_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	OSB/3, t = 15 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	Keine	

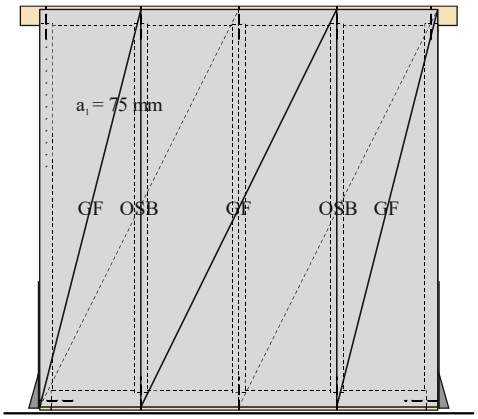


Abbildung B-92: Wandtafel 06_m_1

Untersuchung		
Datum	12.06.2023	
Raumtemperatur T	k.A.	
Raumfeuchte R_H	k.A.	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 457 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 500 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 438 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 465 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	13,6 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	86,8 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

Abweichung ISO 21581:

- Grenzverschiebung l_u circa 2,7 Minuten nach Ende der Vorbelastung erreicht

Während Versuch:

- Initiale Fugenöffnung zwischen Stiel 1 und Beplankung 1 in unterer Ecke über Auflager A
- Fuge wächst anschließend in Richtung Wandtafelmitte an

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)

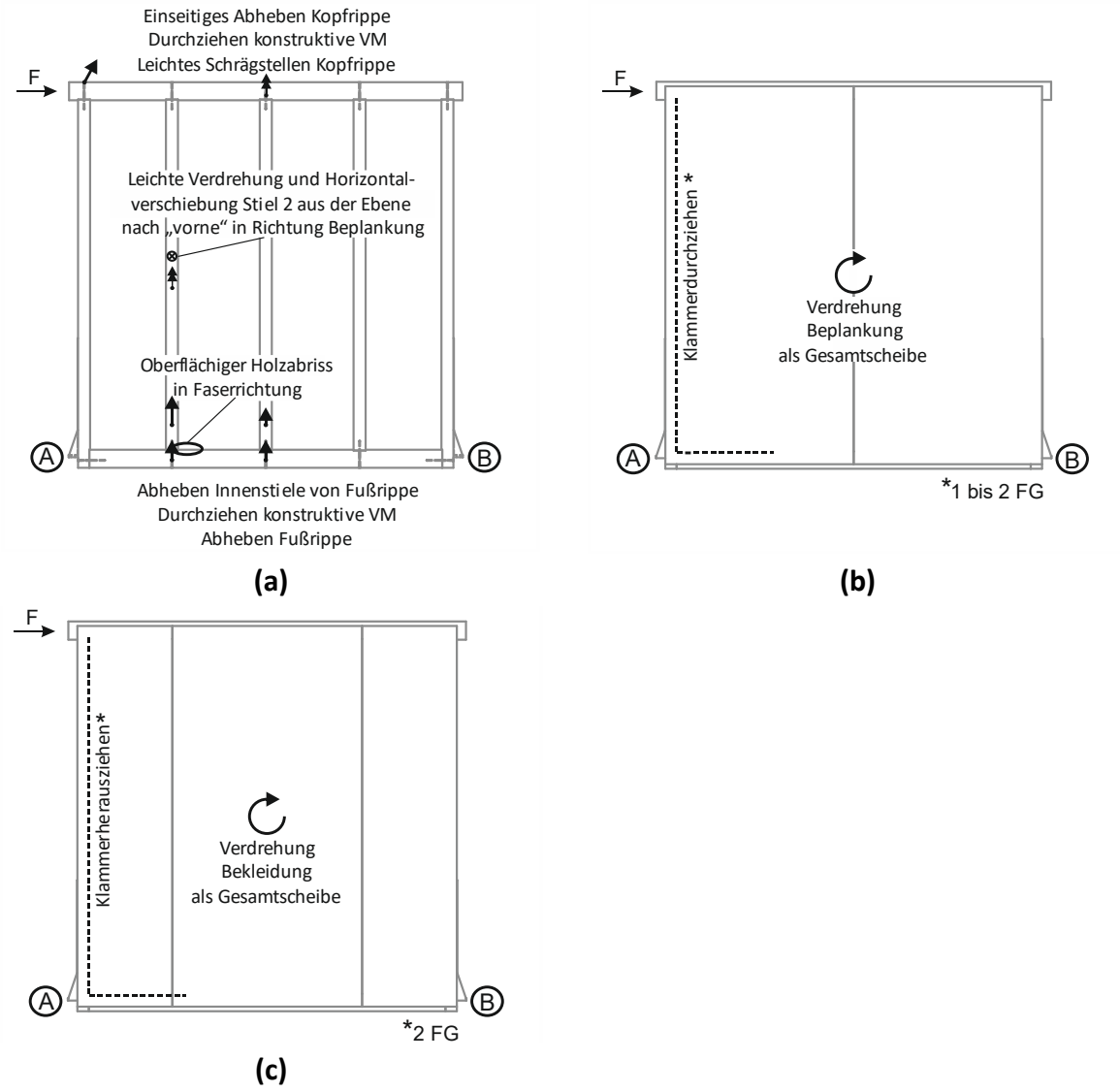
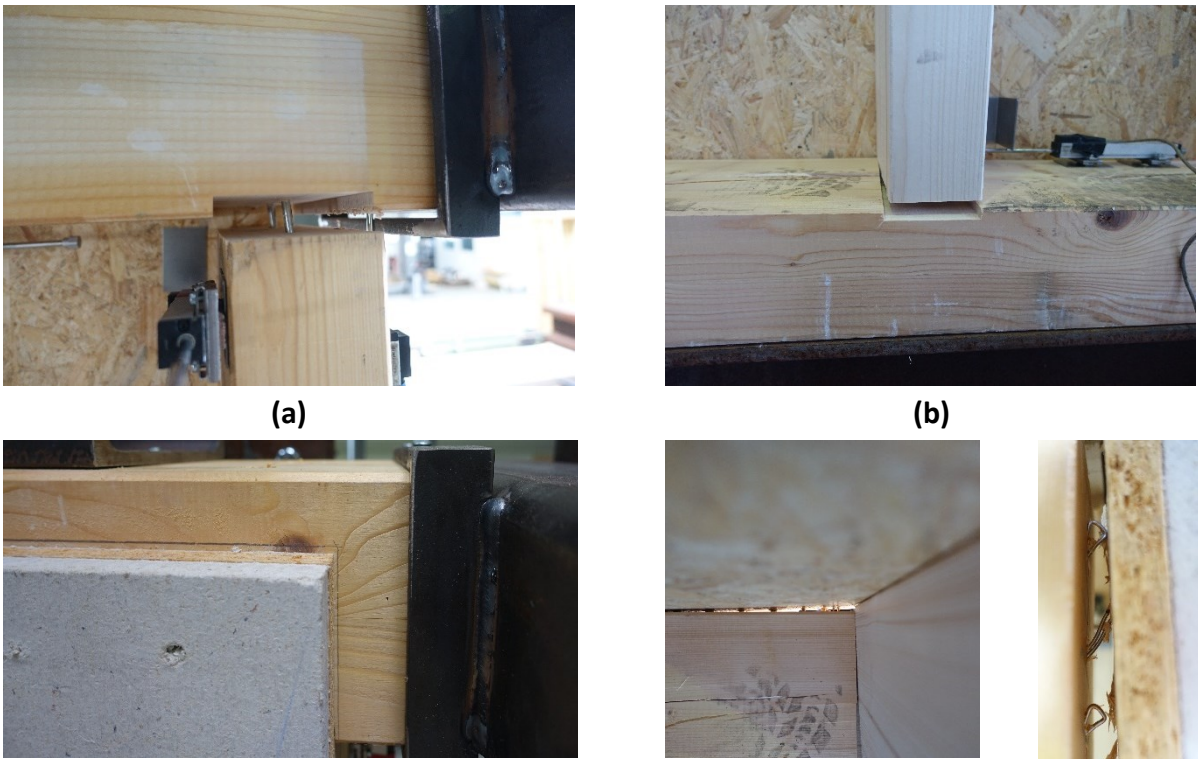


Abbildung B-93: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung (c); WT 06_m_1



(a) **(b)** **(c)**

Abbildung B-94: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 06_m_1



(a) (b)

(c) (d) (e)

Abbildung B-95: Abheben Kopfrippe (a), Holzabriss an Fußrippe und Abheben Stiel 2 (b), Rotation Beplankung und Bekleidung (c), Horizontalverschiebung Stiel 2 (d), Durchziehen Beplankungsklammern und Herausziehen Bekleidungsklammer (e); WT 06_m_1

Untersuchungsergebnisse

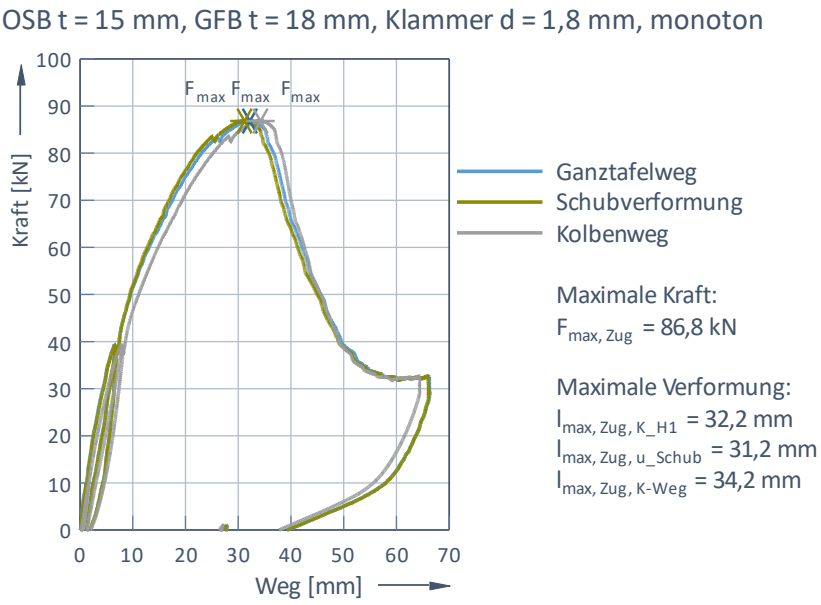


Abbildung B-96: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 06_m_1

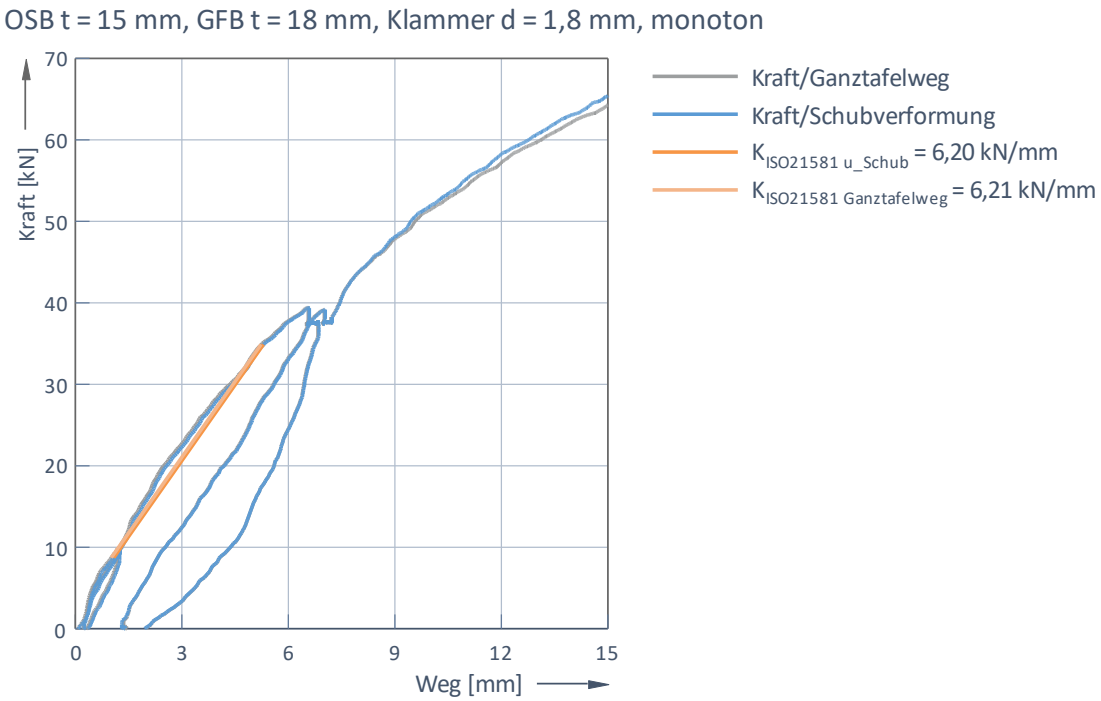


Abbildung B-97: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 06_m_1

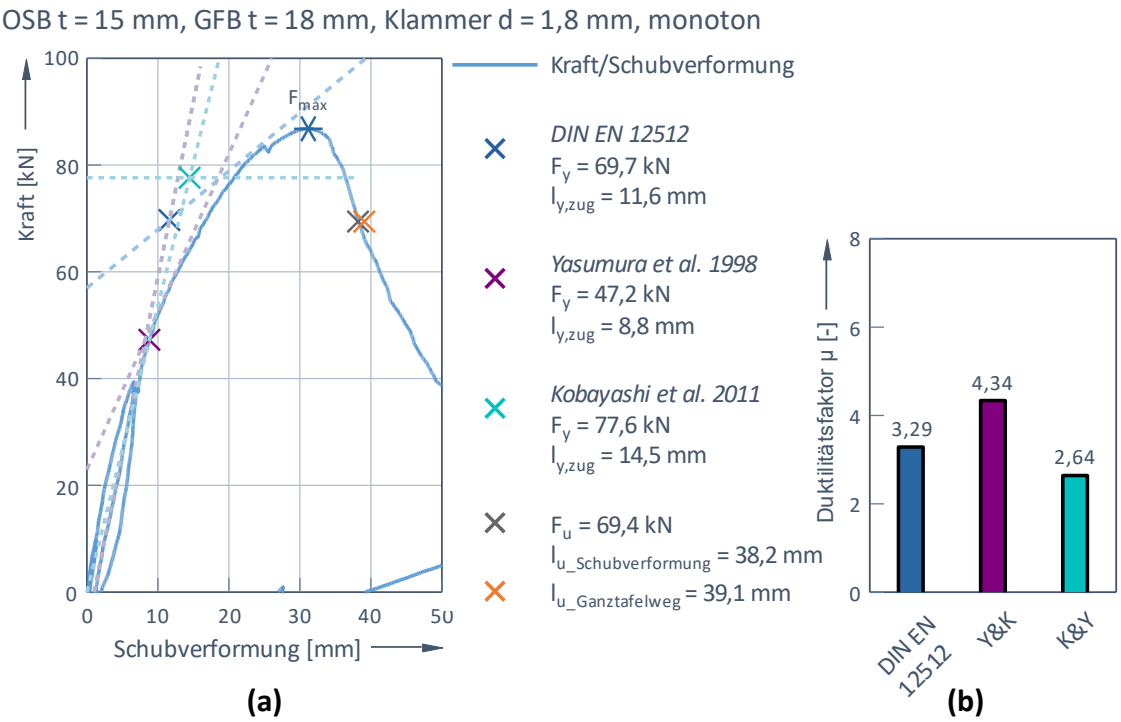


Abbildung B-98: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 06_m_1

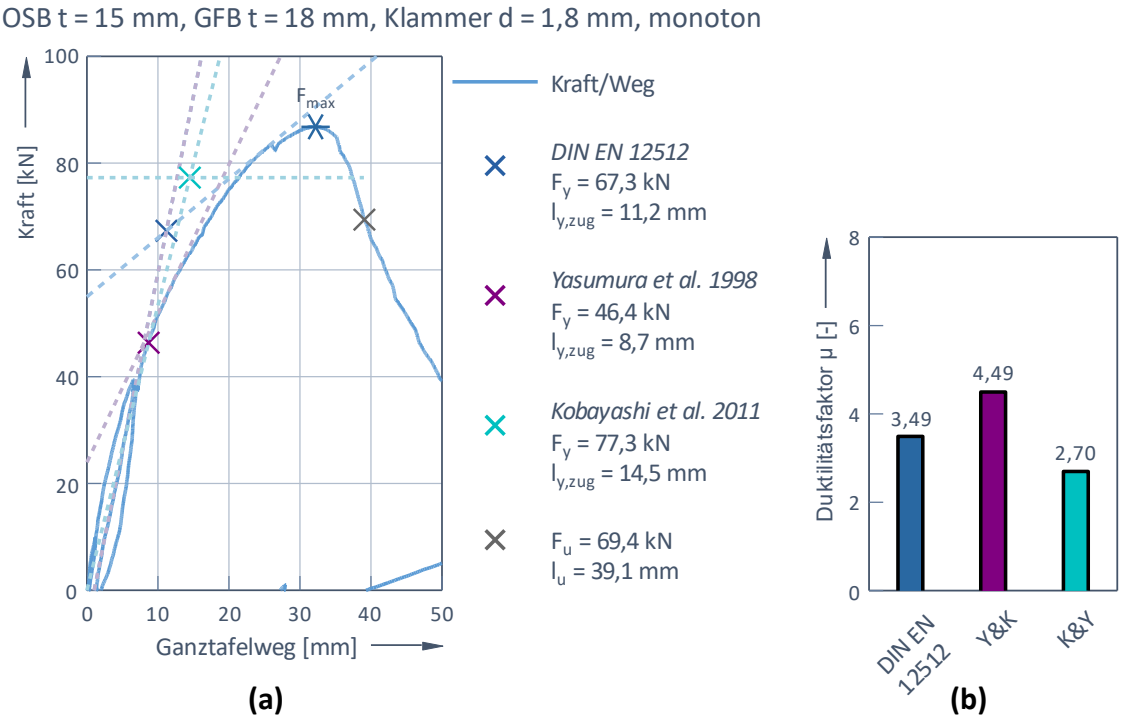


Abbildung B-99: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 06_m_1

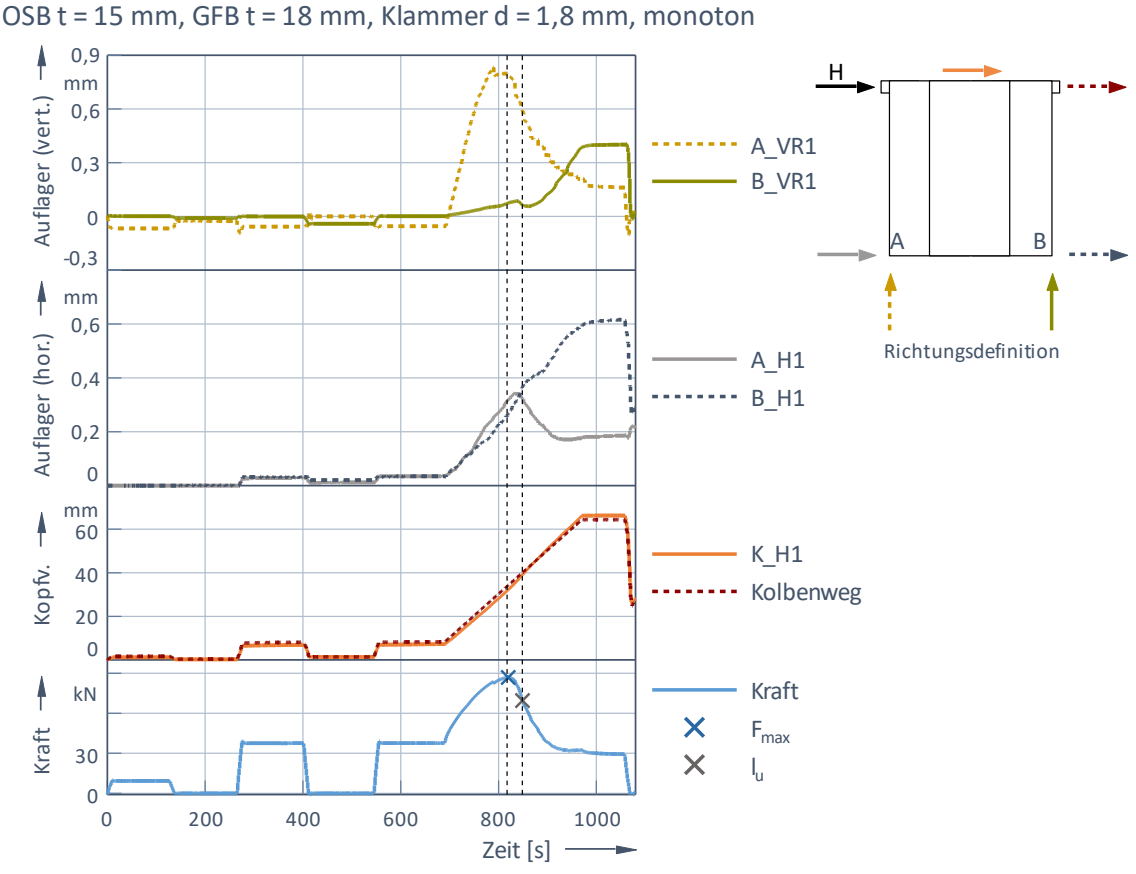


Abbildung B-100: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 06_m_1

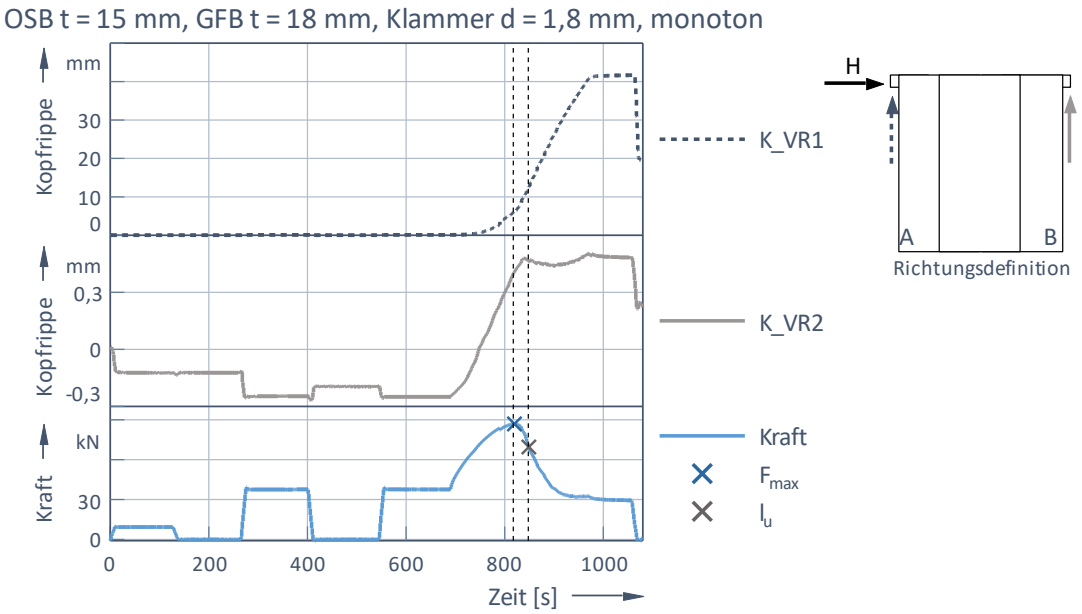


Abbildung B-101: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 06_m_1

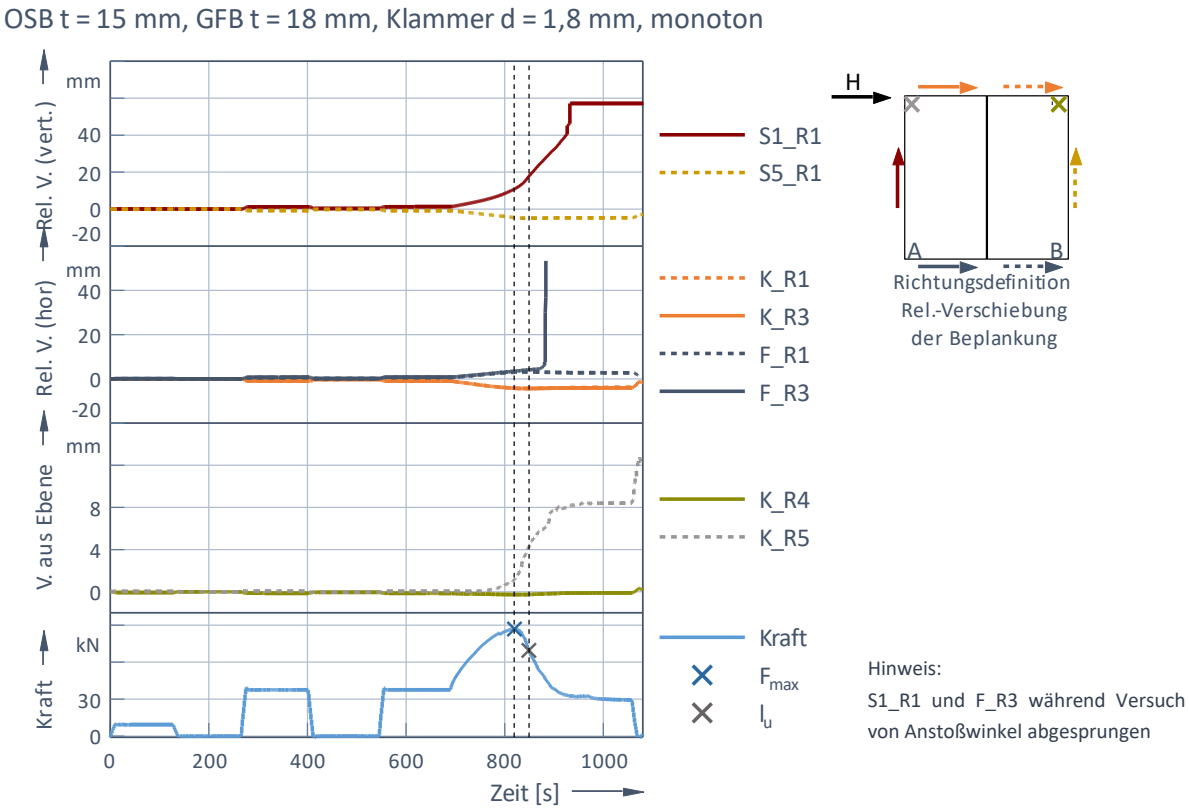


Abbildung B-102: Wegmessungen an Beplankung; WT 06_m_1

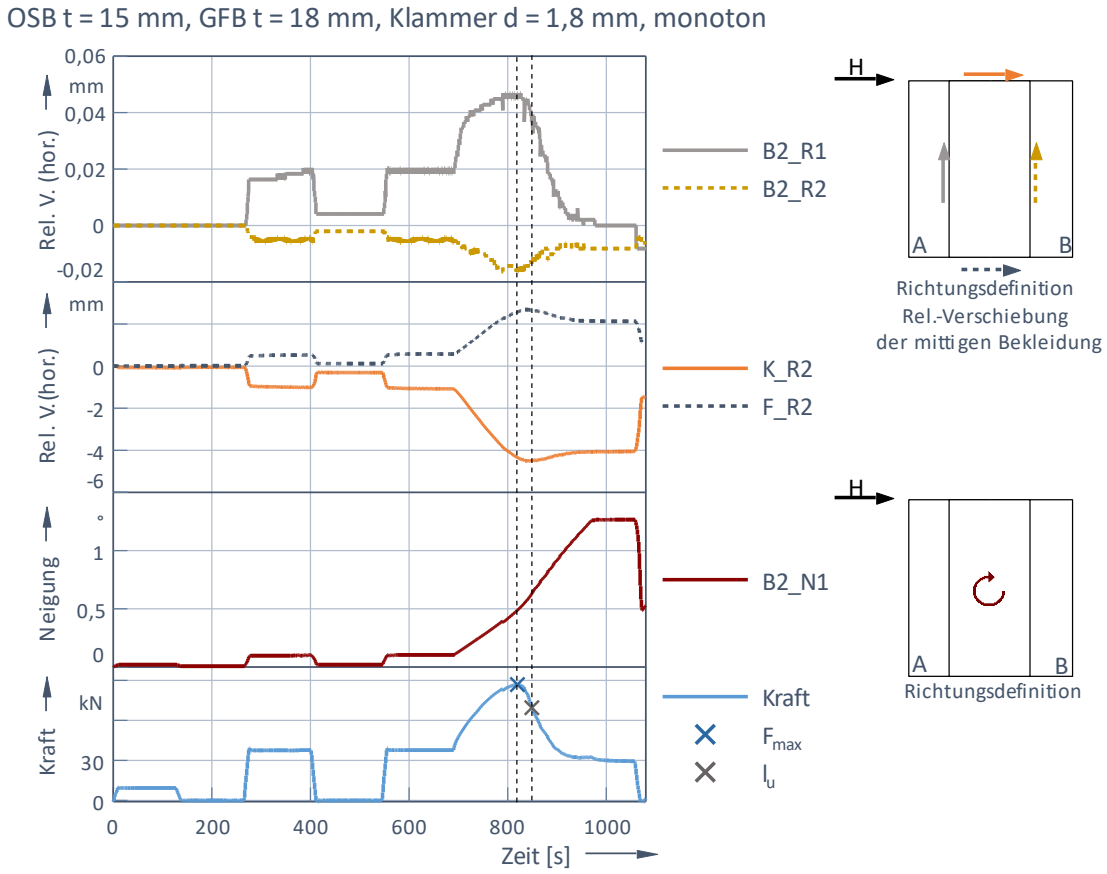


Abbildung B-103: Weg- und Neigungsmessungen an Bekleidung; WT 06_m_1

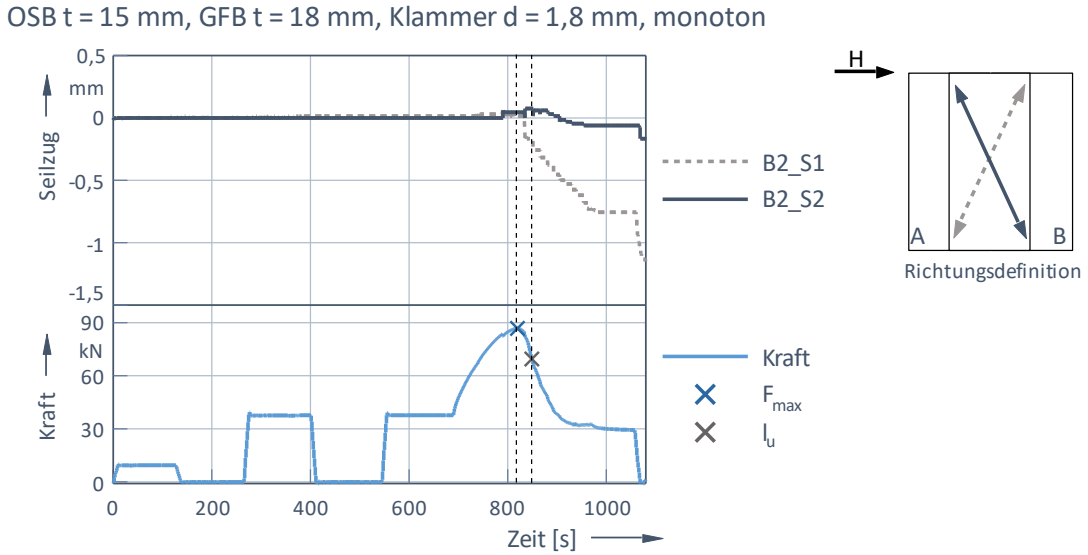


Abbildung B-104: Diagonale Wegmessungen an Bekleidung; WT 06_m_1

B.10 Wandtafel 07_m_1

Tabelle B-10: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 07_m_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	OSB/3, t = 15 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 75 mm, a_v = 75 mm	

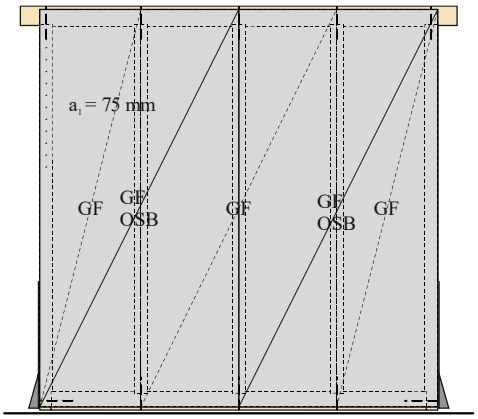


Abbildung B-105: Wandtafel 07_m_1

Untersuchung		
Datum	20.06.2023	
Raumtemperatur T	32,6 °C	
Raumfeuchte R_H	41 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 388 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 388 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 562 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 446 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	13,6 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	109 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

Abweichung ISO 21581:

- Unterschätzung der Tragfähigkeit: Vorbelastung mit 0,32 F_{max} statt 0,40 F_{max}
- Grenzverschiebung l_u circa 4,2 Minuten nach Ende der Vorbelastung erreicht

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)

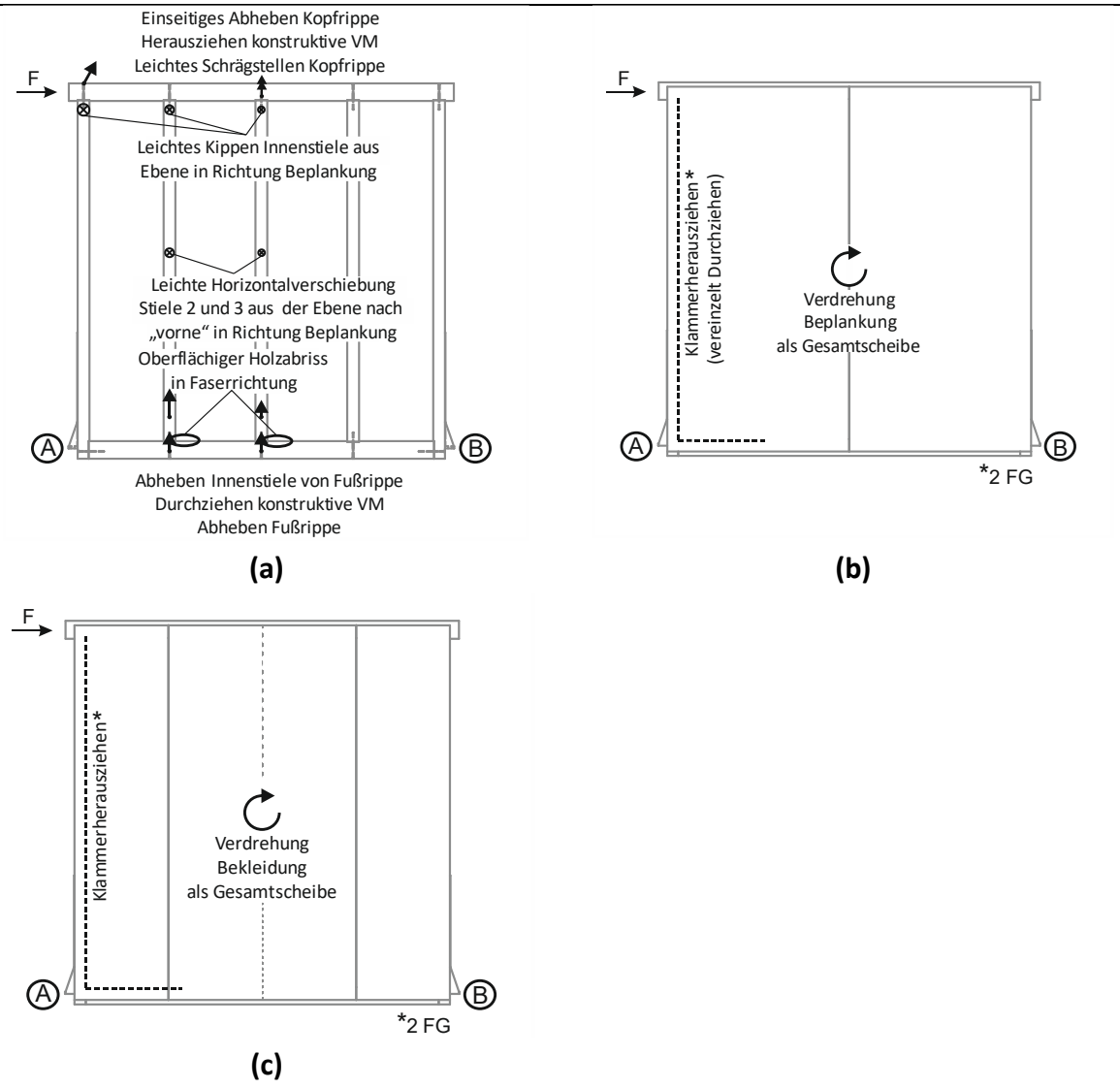
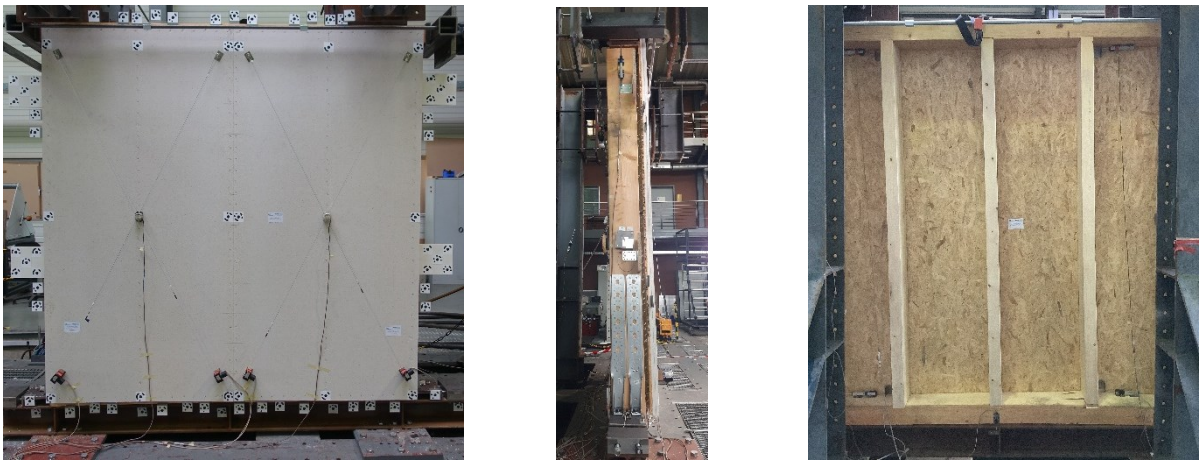


Abbildung B-106: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung 1+2 (c); WT 07_m_1



(a) **(b)** **(c)**

Abbildung B-107: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 07_m_1

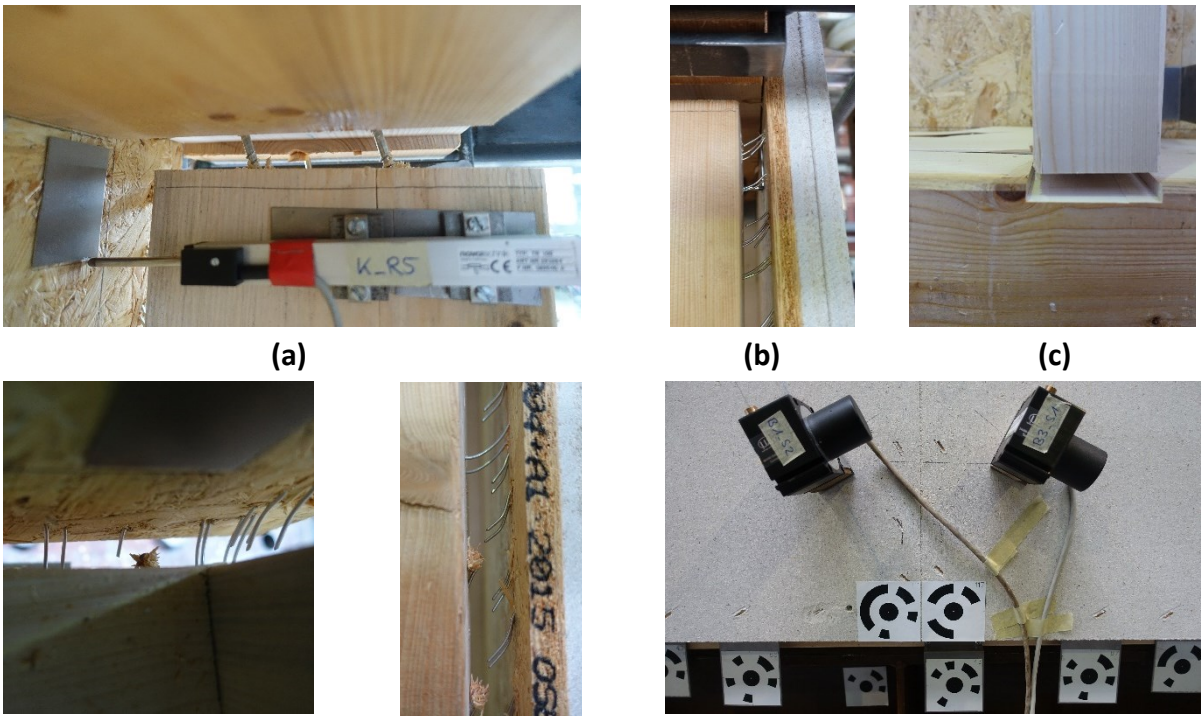


Abbildung B-108: Abheben und Schrägstellen Kopfrippe (a-b), Holzabriss an Fußrippe und Abheben Stiel 2 (c), Herausziehen und Durchziehen Beplankungsklammern und Bekleidungsklammern (d-e), Steife Verbindung Bekleidungen 2. Lage nach Versuch (f); WT 07_m_1

Untersuchungsergebnisse

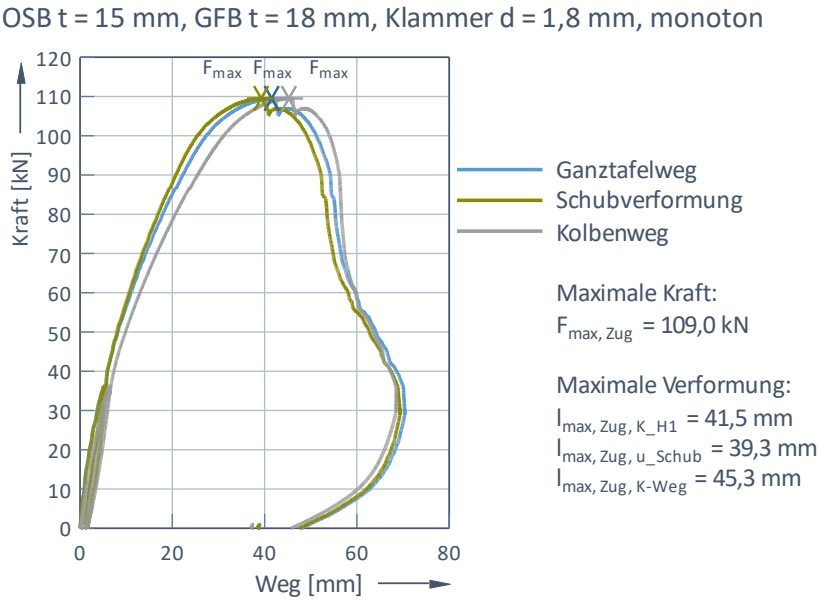


Abbildung B-109: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 07_m_1

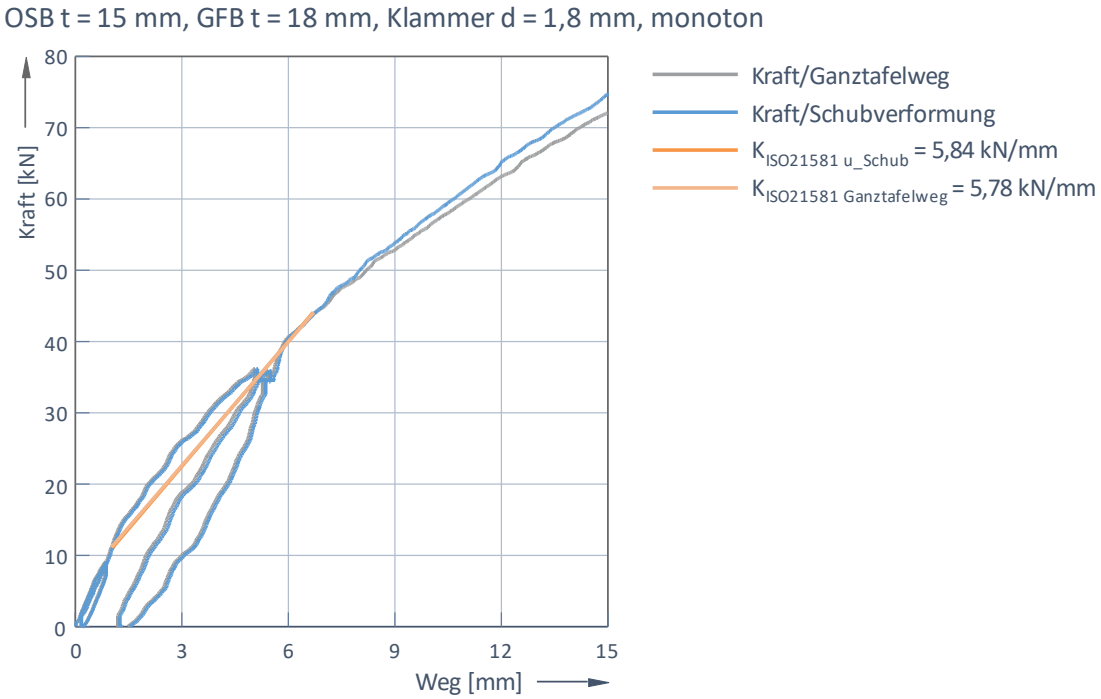


Abbildung B-110: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 07_m_1

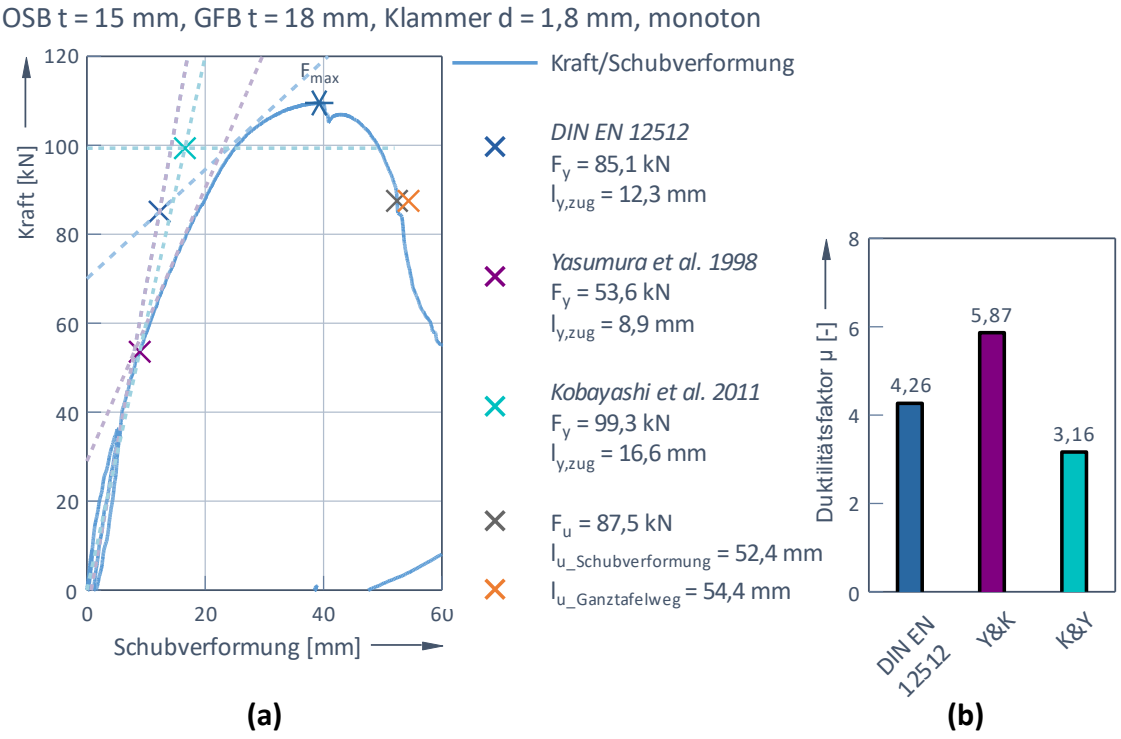


Abbildung B-111: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 07_m_1

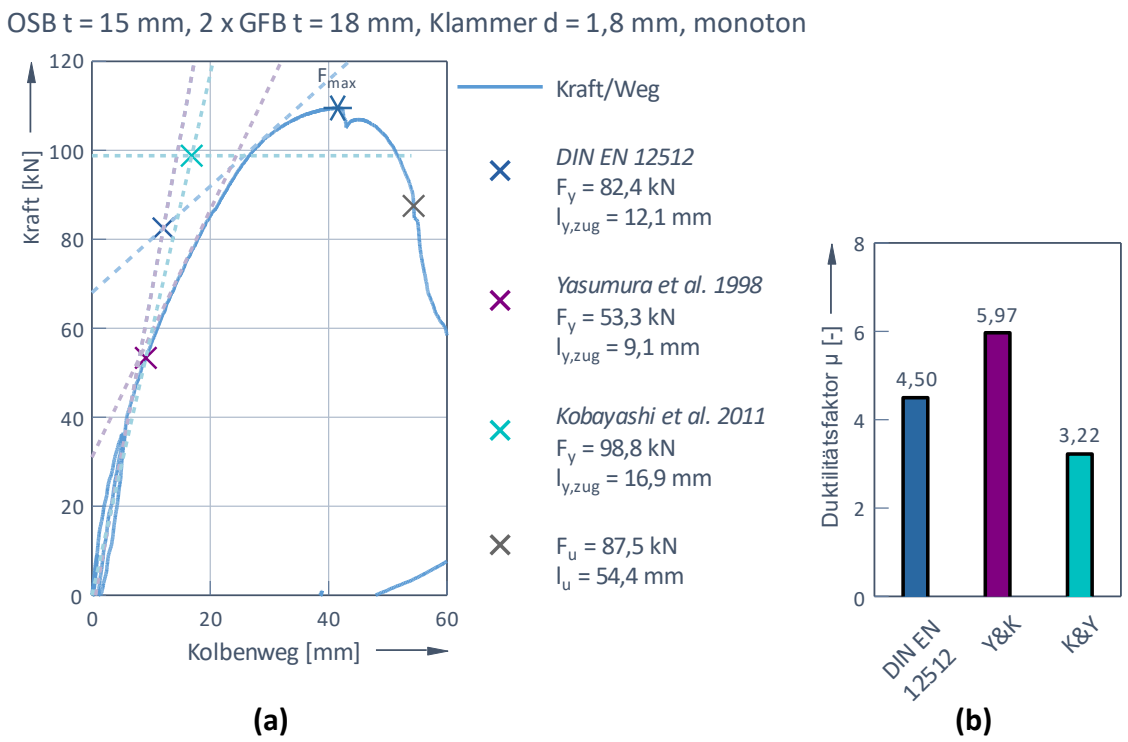


Abbildung B-112: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 07_m_1

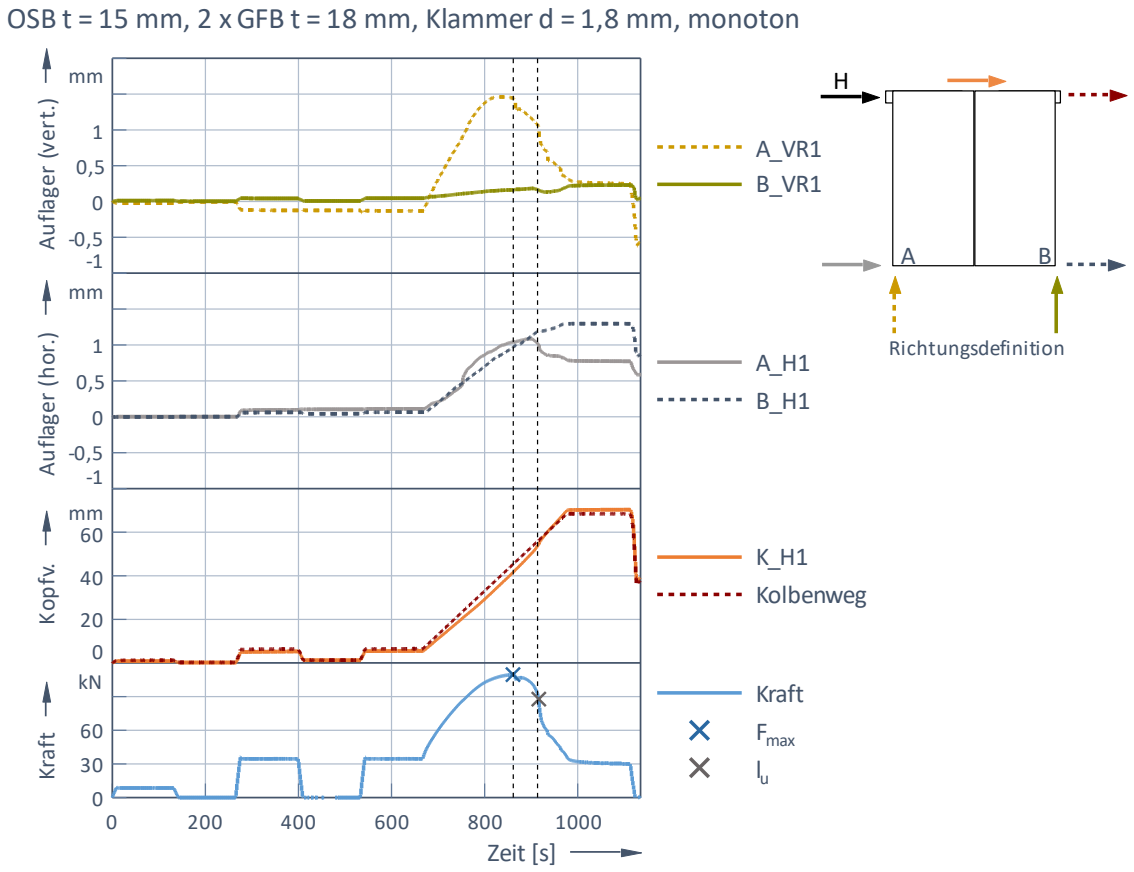


Abbildung B-113: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 07_m_1

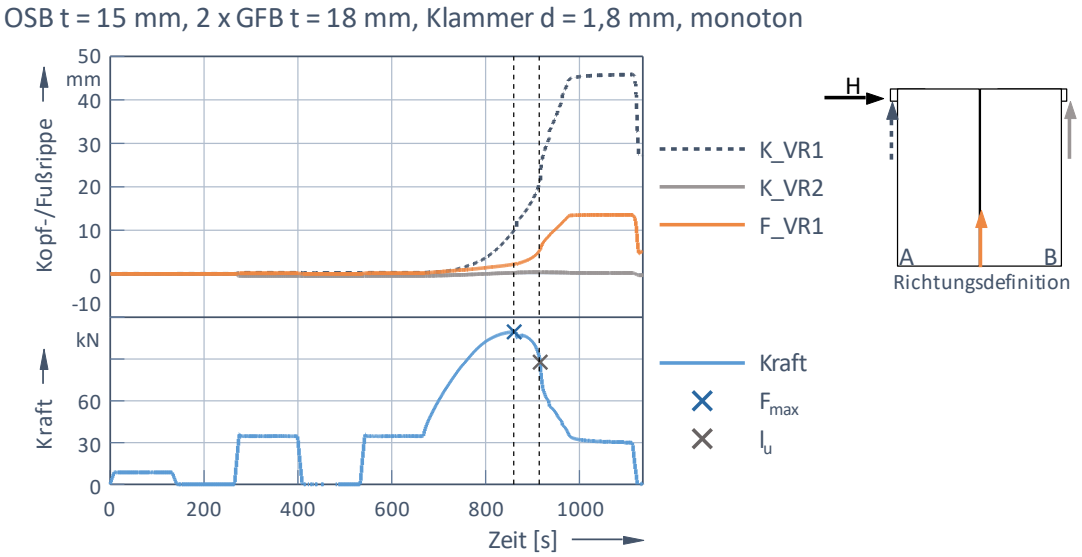


Abbildung B-114: Wegmessungen an Kopf- und Fußrippe; WT 07_m_1

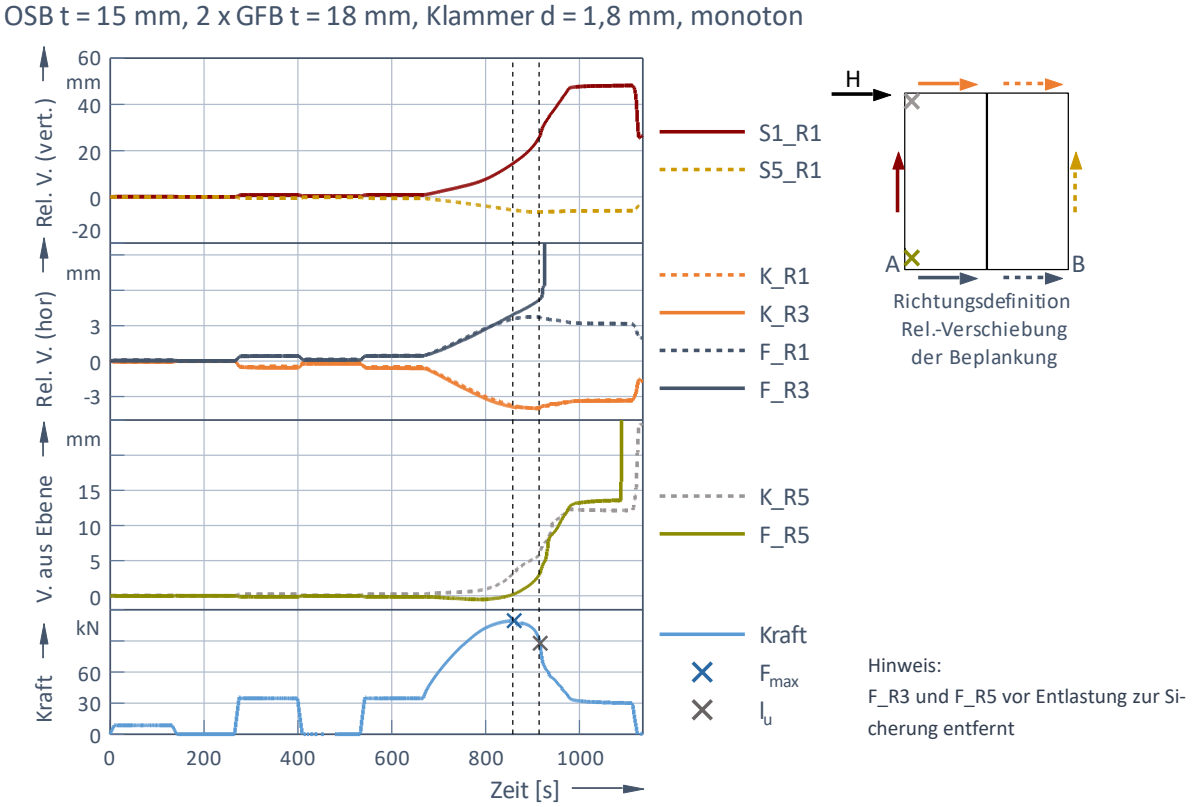


Abbildung B-115: Wegmessungen an Beplankung; WT 07_m_1

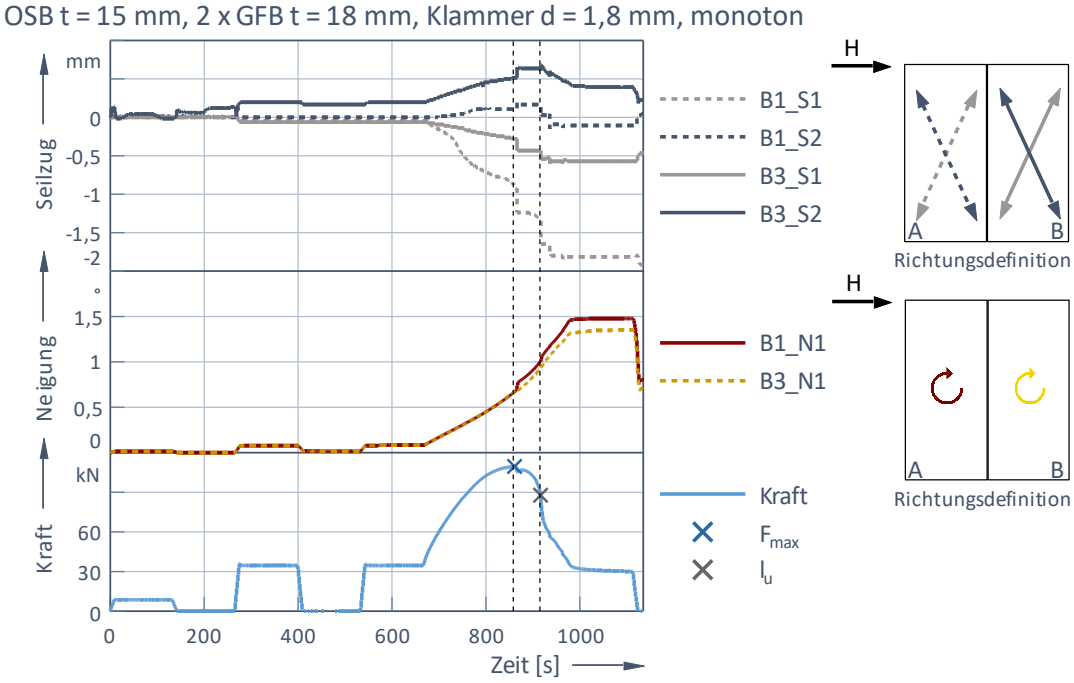


Abbildung B-116: Weg- und Neigungsmessungen an Bekleidung; WT 07_m_1

B.11 Wandtafel 08_m_1

Tabelle B-11: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 08_m_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	GFB, t = 12,5 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 12,5 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	Keine	

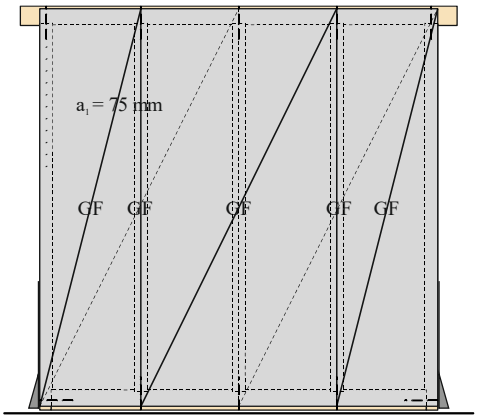


Abbildung B-117: Wandtafel 08_m_1

Untersuchung		
Datum	14.06.2023	
Raumtemperatur T	k.A.	
Raumfeuchte R_H	k.A.	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 462 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 416 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 442 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 440 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	14,6 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	96,2 kN	(GFB-Versagen Beplankung maßgebend)

Anmerkungen

Abweichung ISO 21581:

- Grenzverschiebung l_u circa 2,1 Minuten nach Ende der Vorbelastung erreicht

Während Versuch:

- Traglastabfall bei Rissbildung in unterer Ecke über Auflager A
- Sichtbare Rissbildung über Auflager A gleichzeitig in Beplankung und Bekleidung
- Bewegung seitliche Halterung nach Erreichen der Maximalbelastung

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)

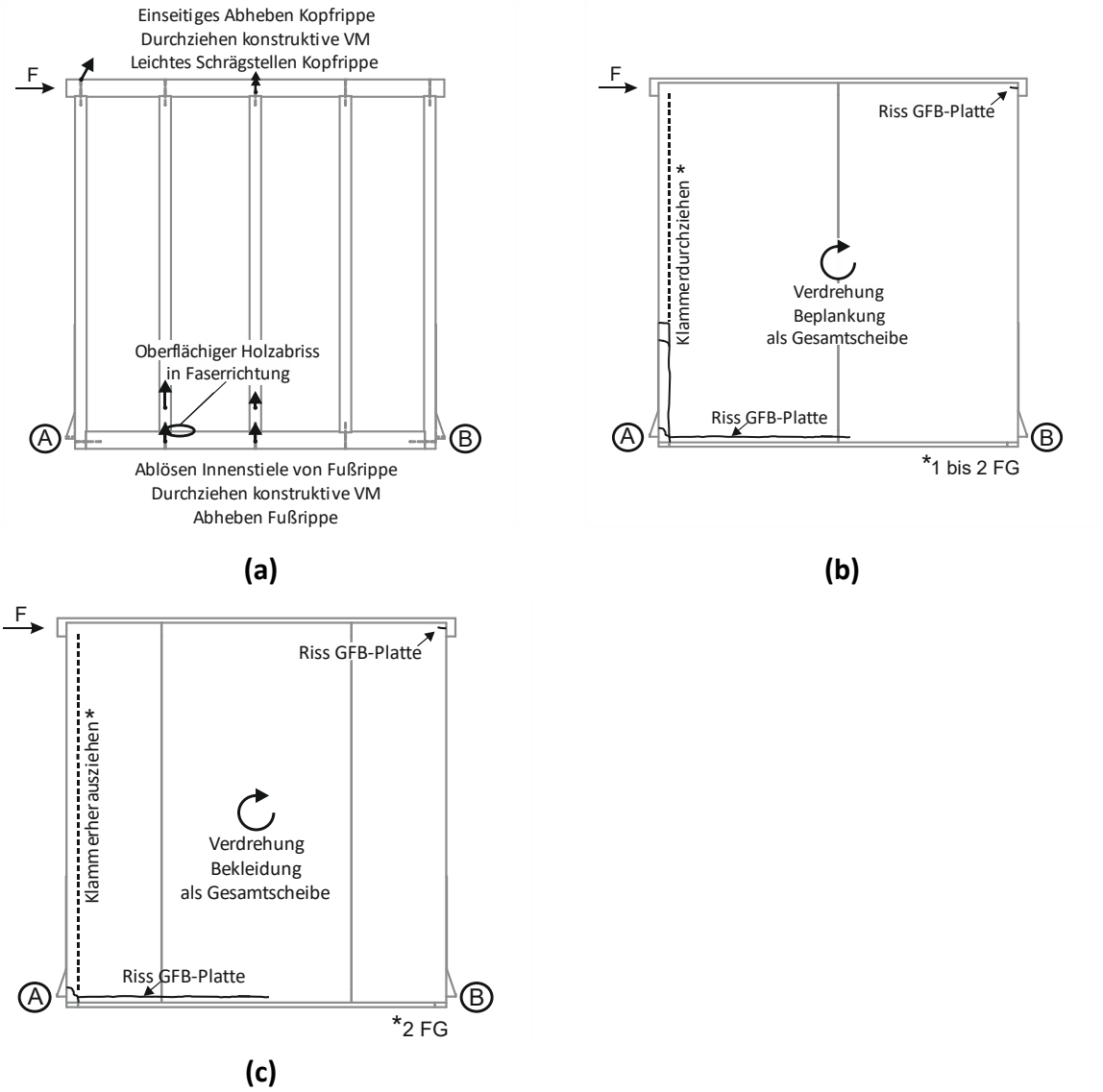
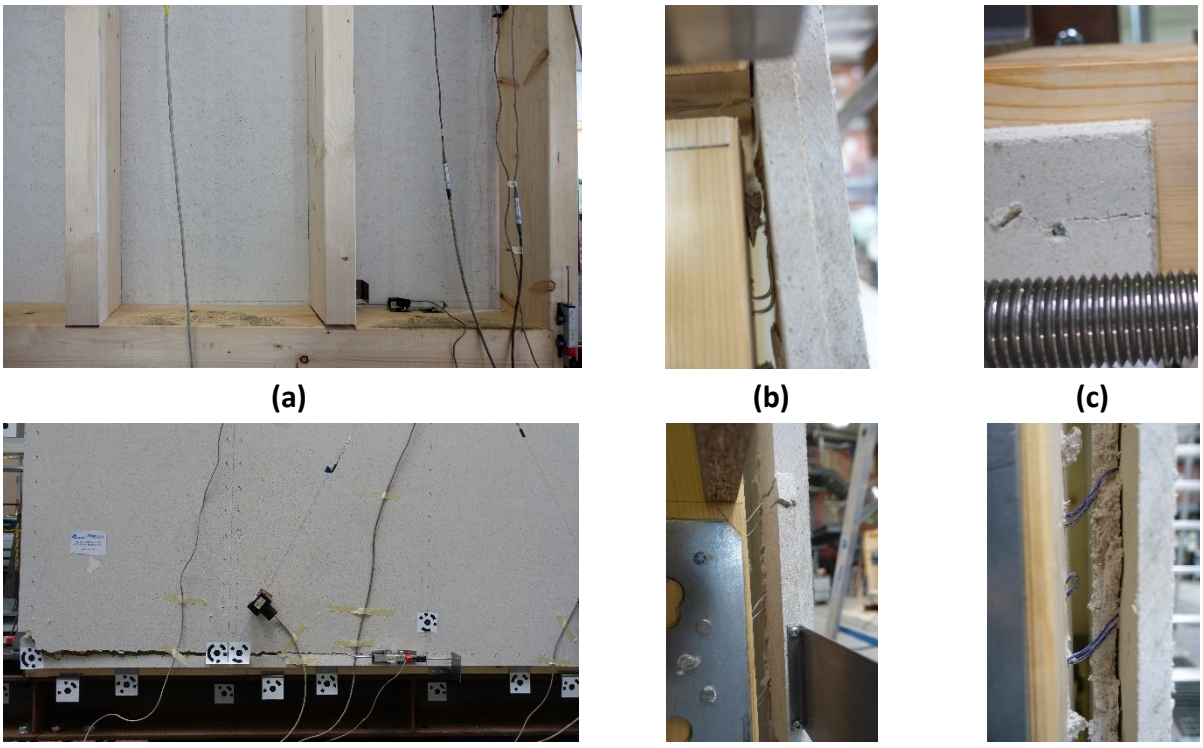


Abbildung B-118: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung (c); WT 08_m_1



(a) **(b)** **(c)**

Abbildung B-119: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 08_m_1



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

Abbildung B-120: Abheben Stiele 2 und 3 (a), Abheben und Schrägstellen Kopfrippe (b), Rissbildung in GFB-Beplankung und -Bekleidung (c-d), Durchziehen Beplankungsklammern und Herausziehen Bekleidungsklammern (e-f); WT 08_m_1

Untersuchungsergebnisse

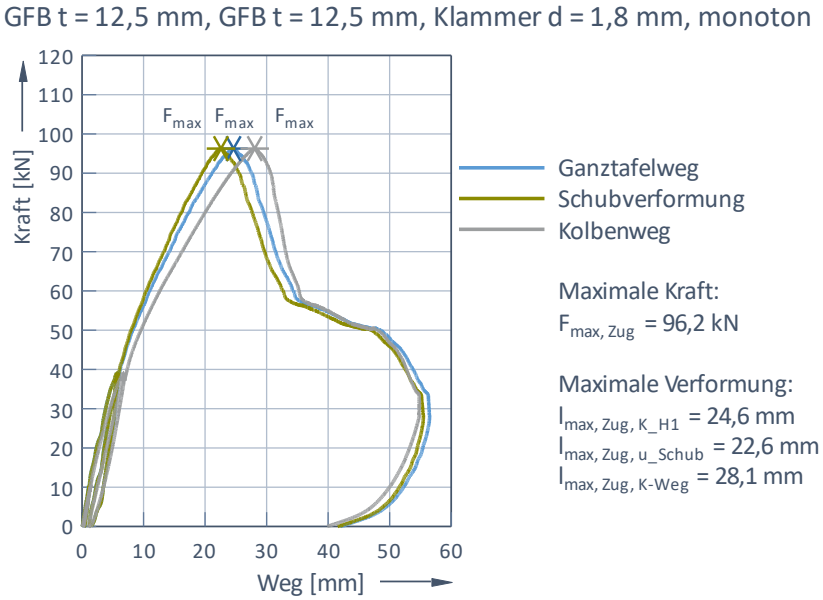


Abbildung B-121: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 08_m_1

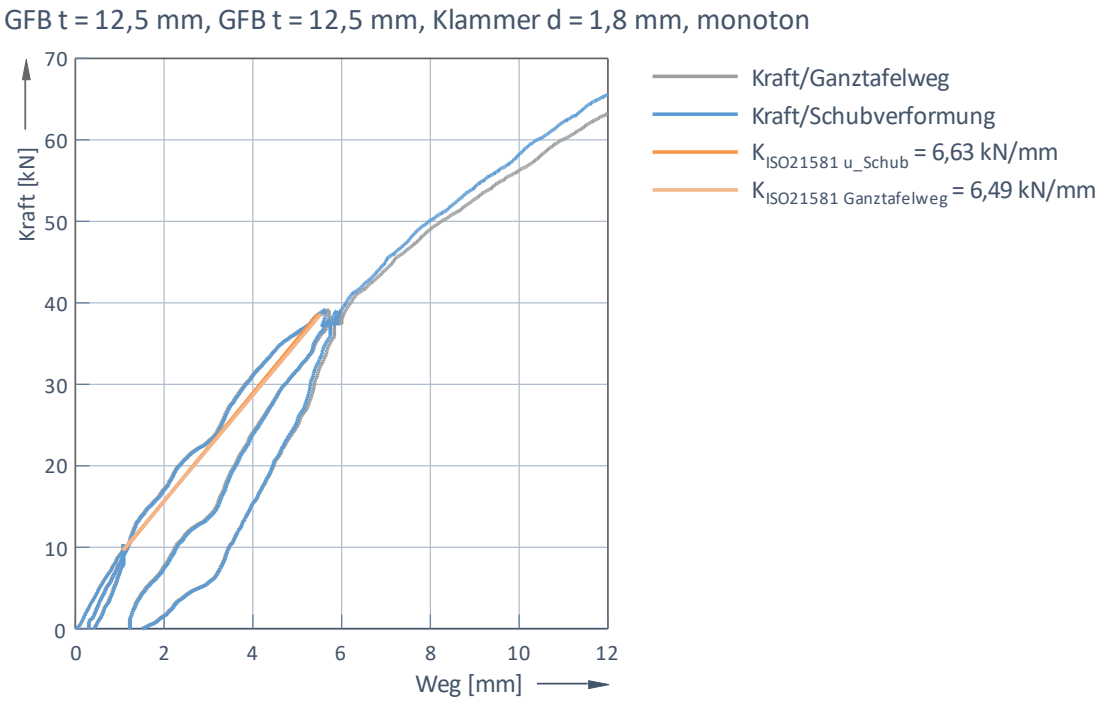


Abbildung B-122: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 08_m_1

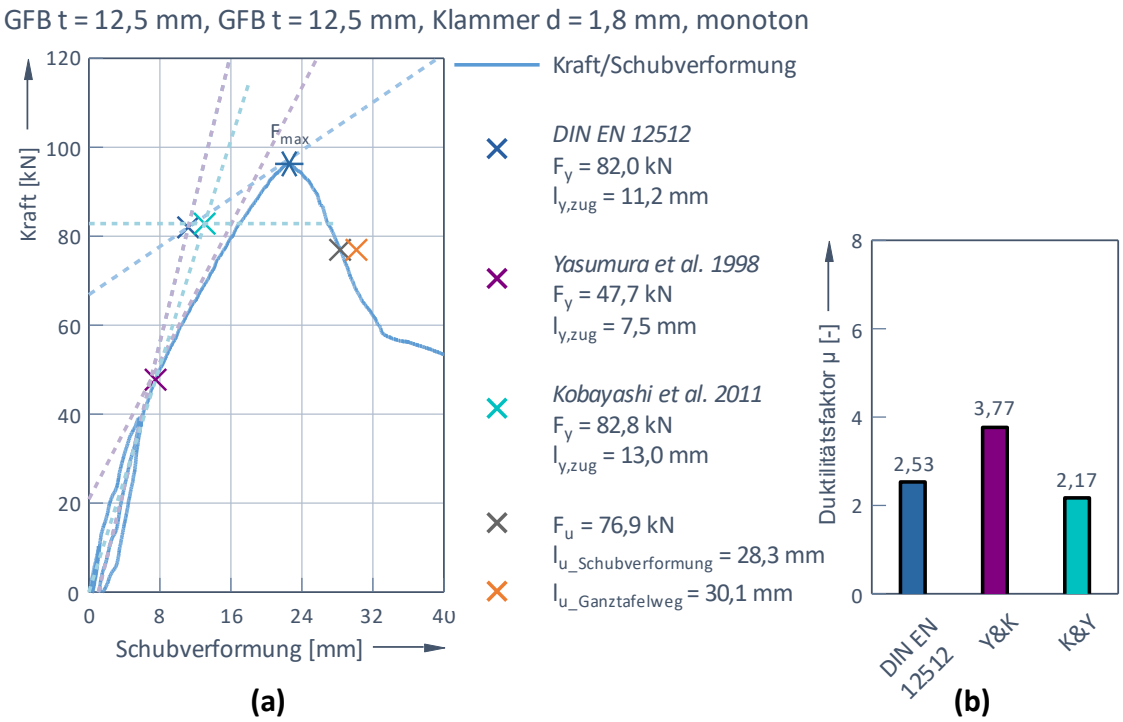


Abbildung B-123: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 08_m_1

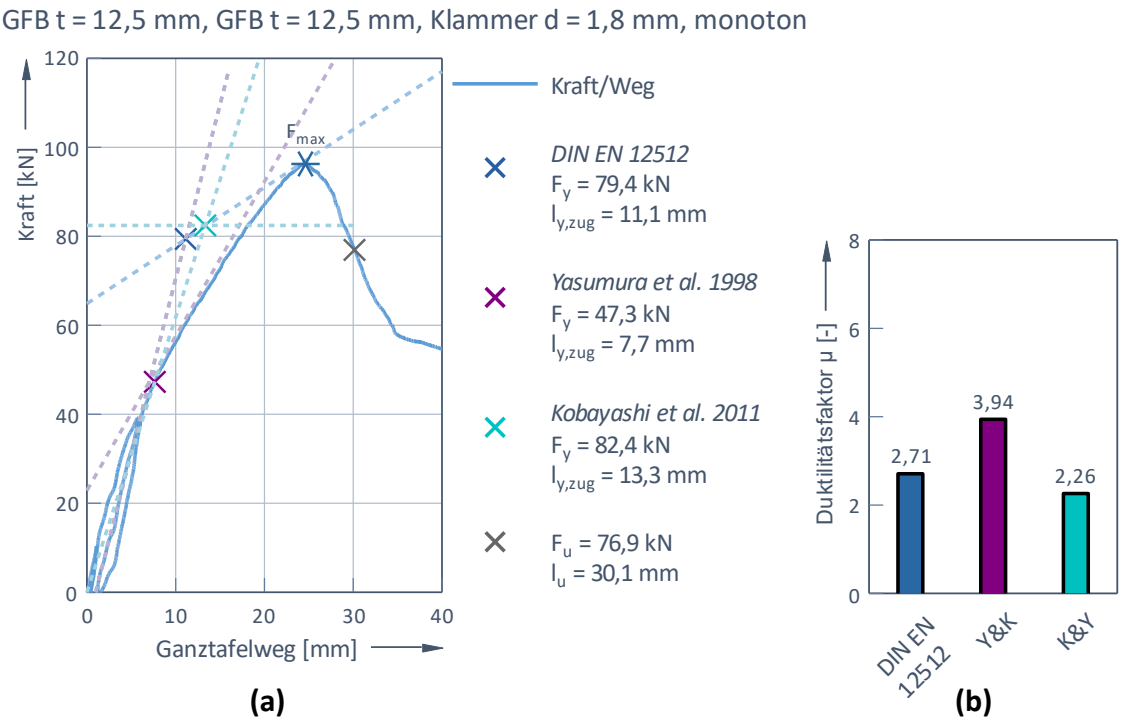


Abbildung B-124: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 08_m_1

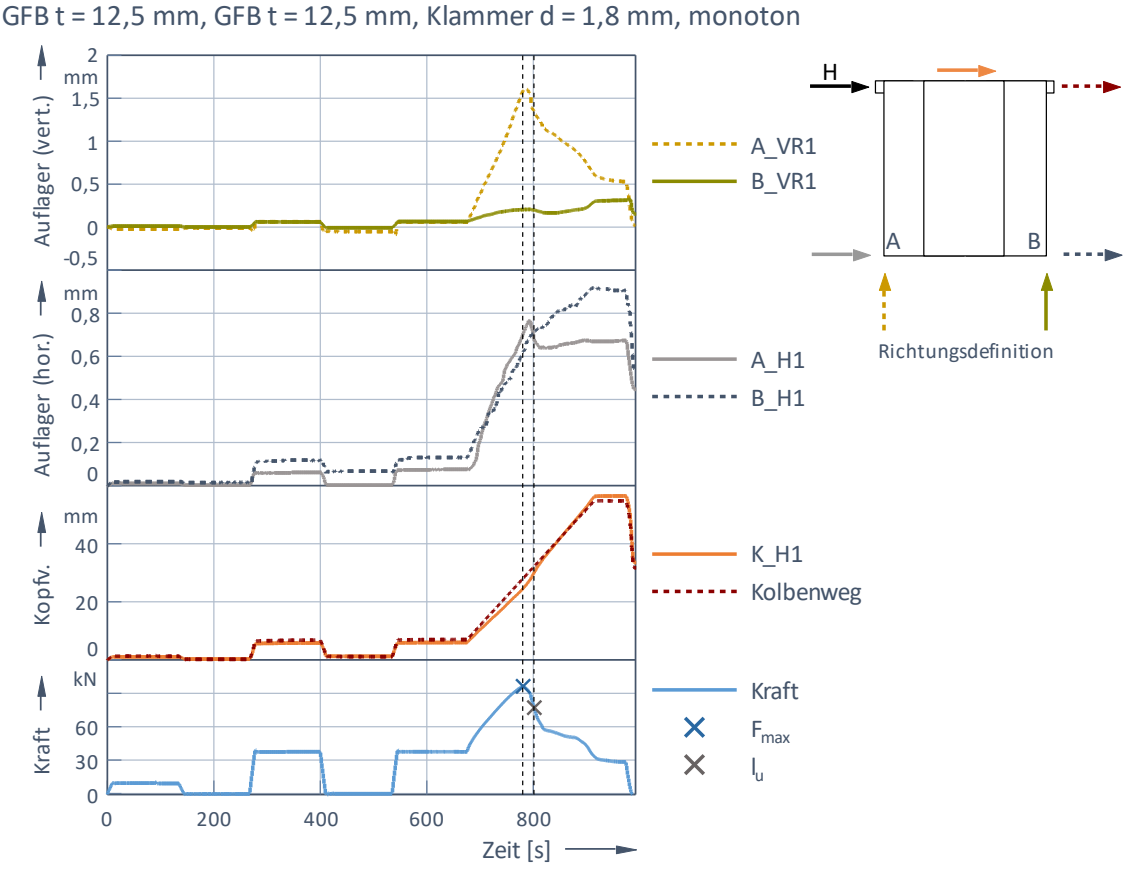


Abbildung B-125: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 08_m_1

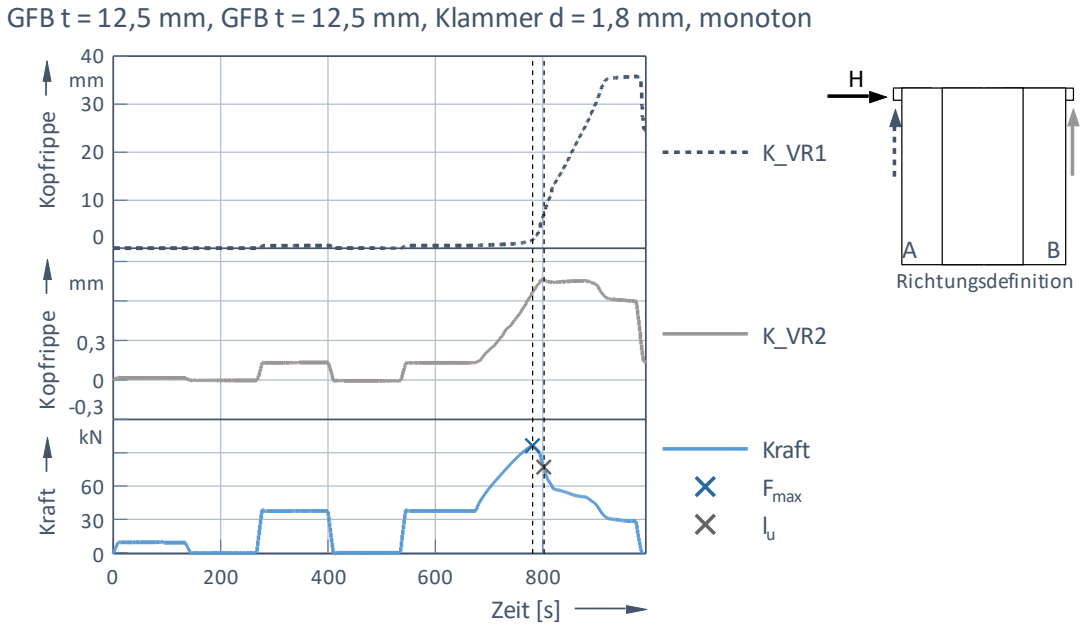


Abbildung B-126: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 08_m_1

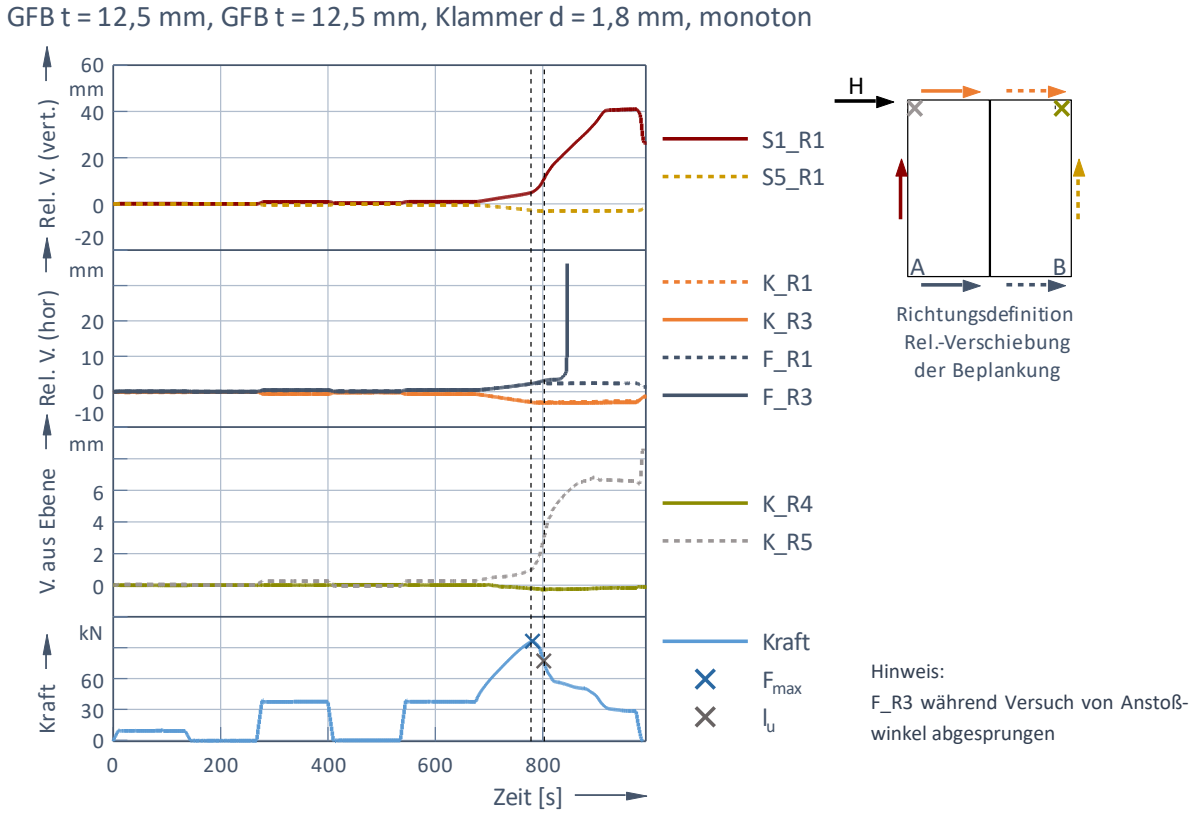


Abbildung B-127: Wegmessungen an Beplankung; WT 08_m_1

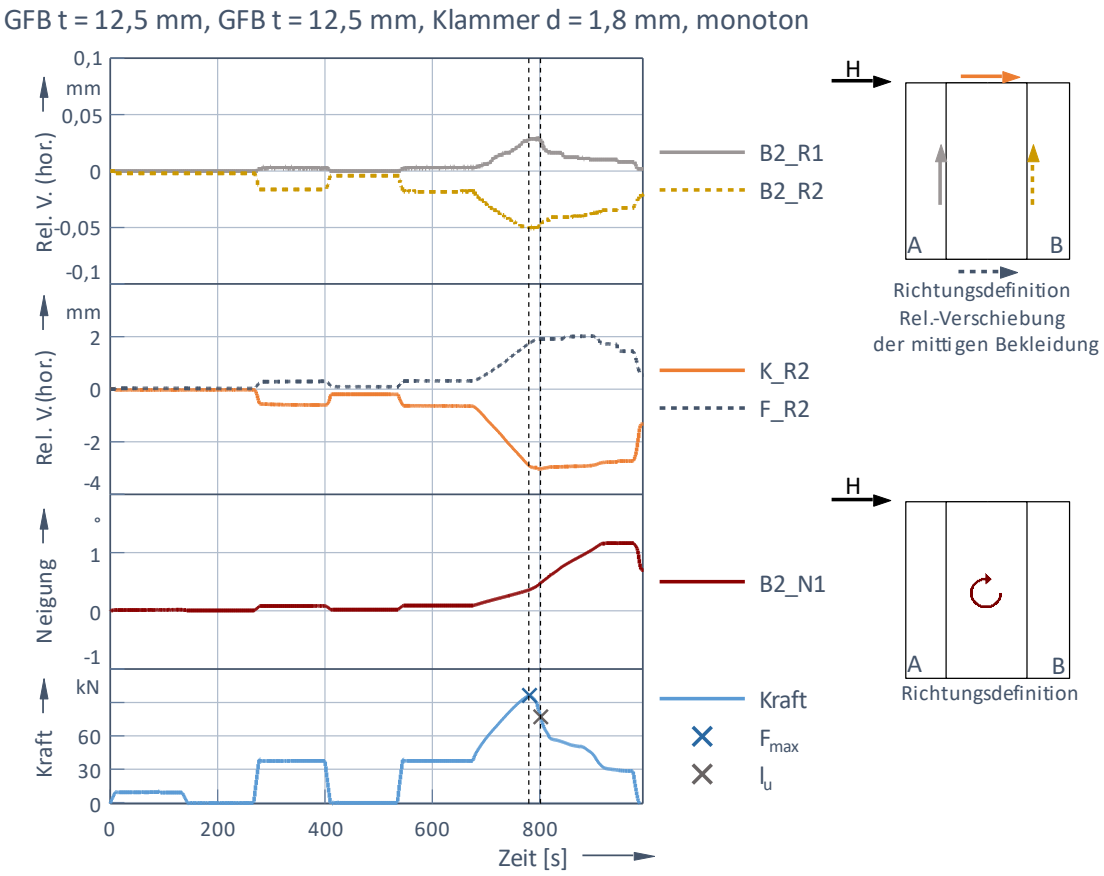


Abbildung B-128: Weg- und Neigungsmessungen an Bekleidung; WT 08_m_1

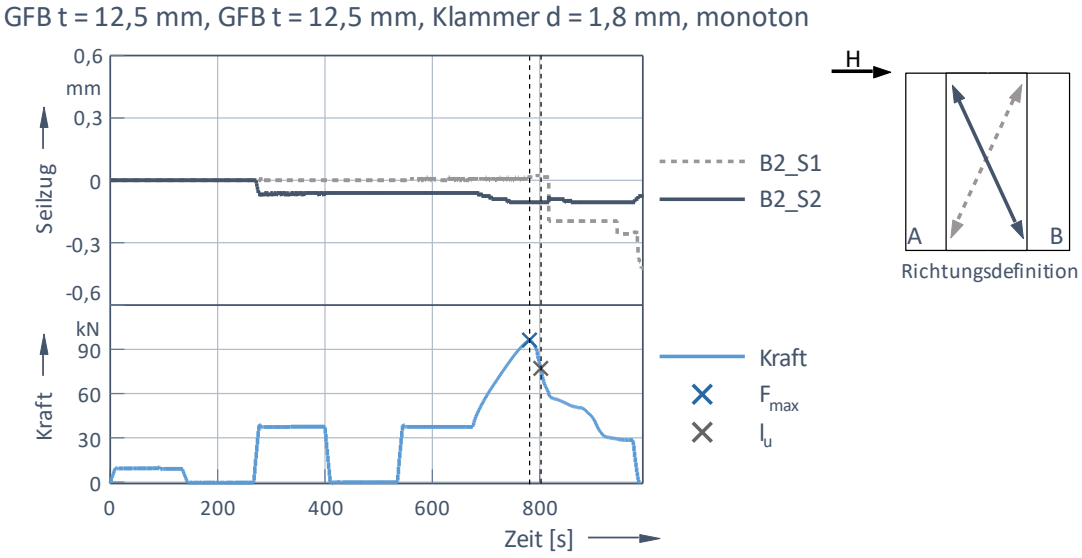


Abbildung B-129: Diagonale Wegmessungen an Bekleidung; WT 08_m_1

B.12 Wandtafel 08_m_2

Tabelle B-12: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 08_m_2

Wandtafel	
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung
Beplankung:	GFB, t = 12,5 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm
Bekleidung 1:	GFB, t = 12,5 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm
Bekleidung 2:	Keine

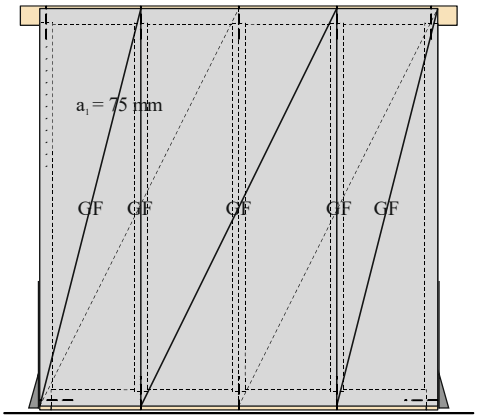


Abbildung B-130: Wandtafel 08_m_2

Untersuchung		
Datum	27.06.2023	
Raumtemperatur T	26,1 °C	
Raumfeuchte R_H	41 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 384 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 406 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 442 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 444 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	14,5 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	90,7 kN	(GFB-Versagen Beplankung maßgebend)

Anmerkungen

Abweichung ISO 21581:

- Grenzverschiebung I_u circa 3,3 Minuten nach Ende der Vorbelastung erreicht

Während Versuch:

- Schrauben der Vertikalverankerung an Auflager A nicht ausreichend fest angezogen

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)

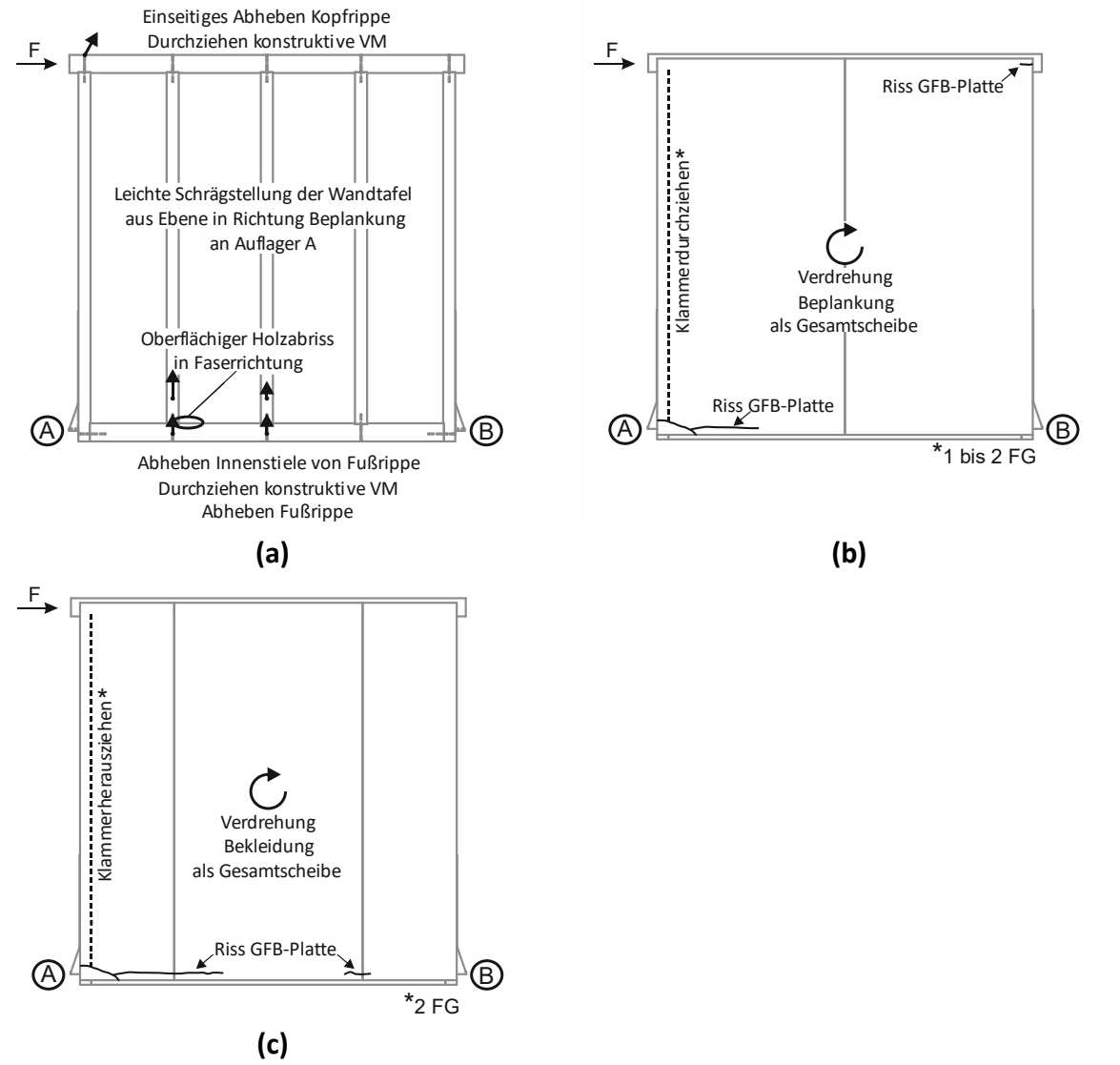
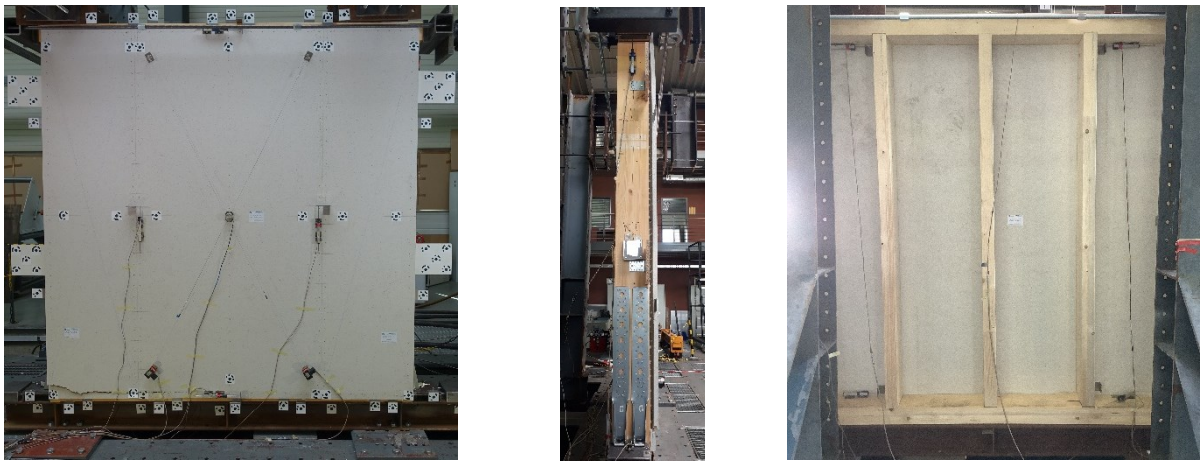
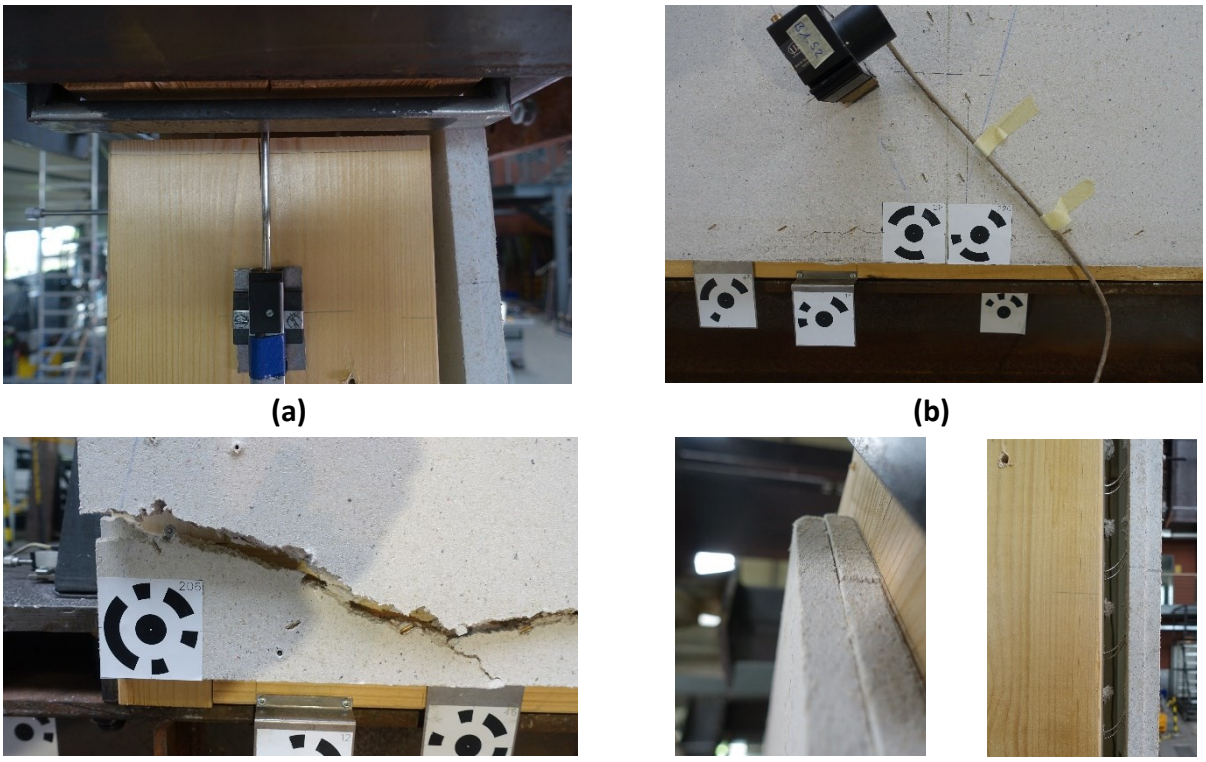


Abbildung B-131: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung (c); WT 08_m_2



(a) **(b)** **(c)**

Abbildung B-132: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 08_m_2



(a) (b)

(c) (d) (e)

Abbildung B-133: Abheben Kopfrippe (a), Rissbildung in GFB-Beplankung und -Bekleidung (b-d), Durchziehen Beplankungsklammern und Herausziehen Bekleidungsklammern (e); WT 08_m_2

Untersuchungsergebnisse

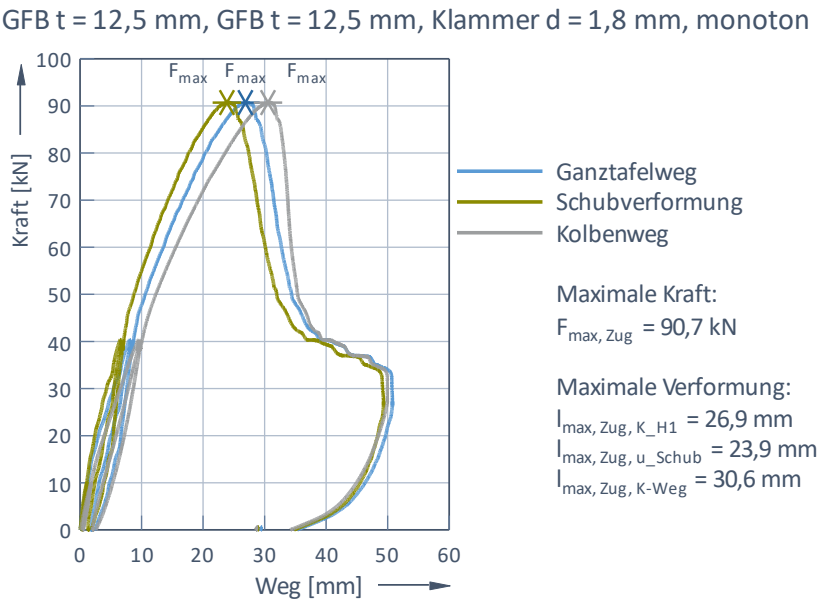


Abbildung B-134: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 08_m_2

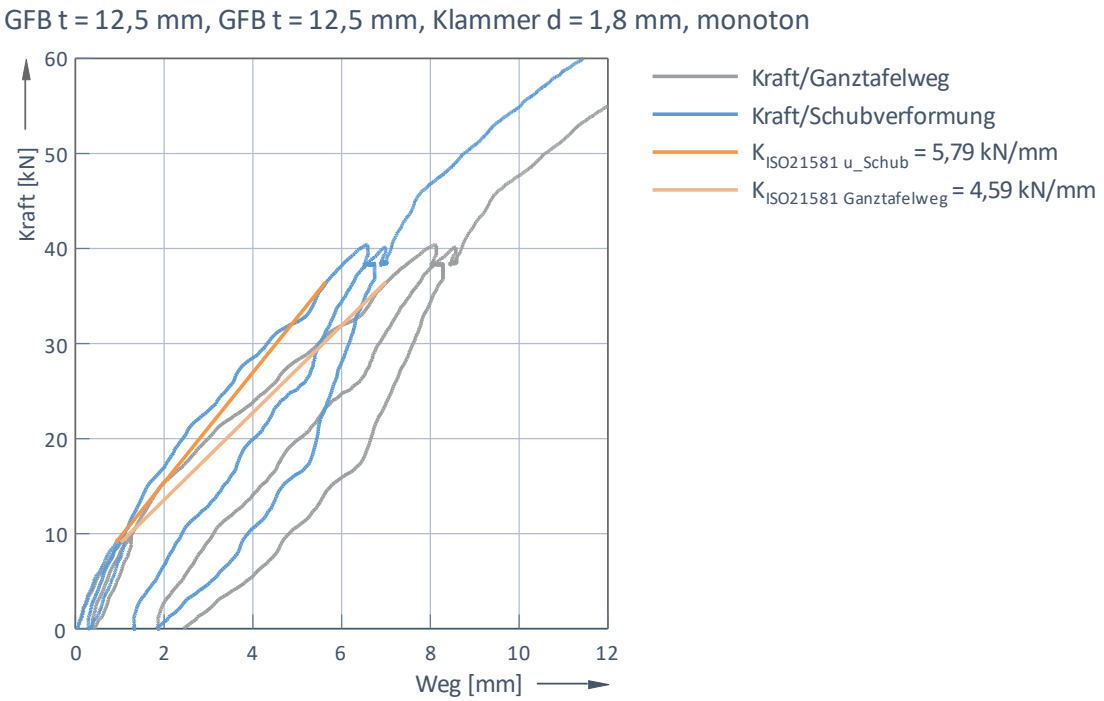


Abbildung B-135: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 08_m_2

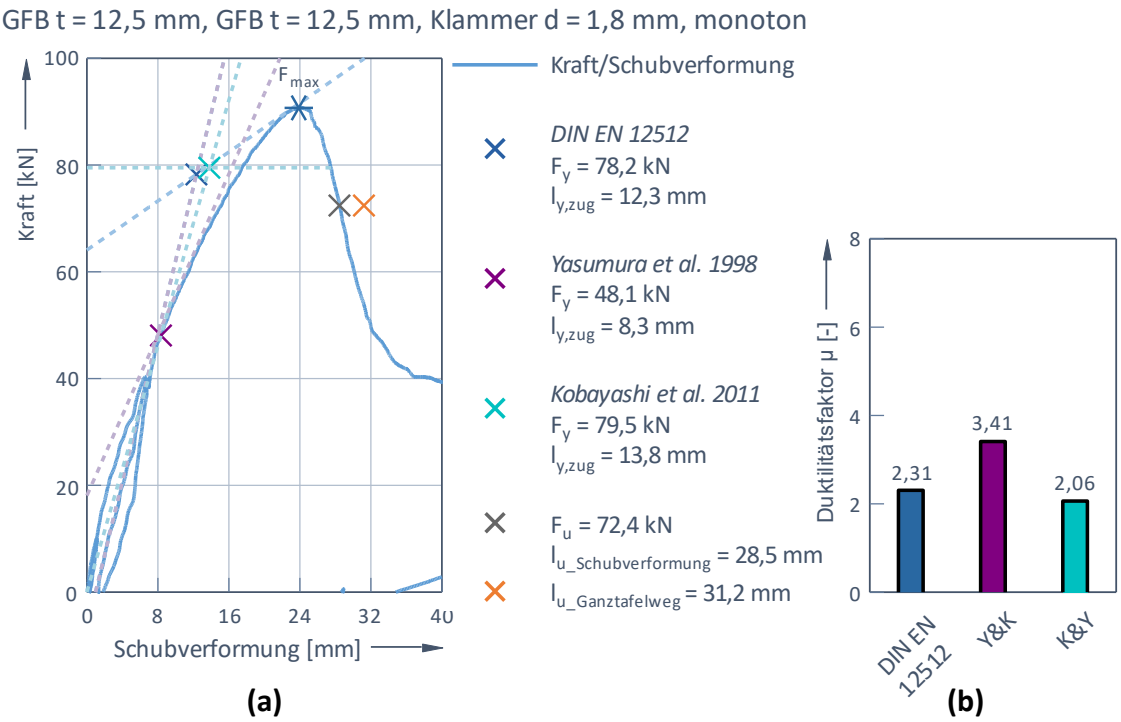


Abbildung B-136: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 08_m_2

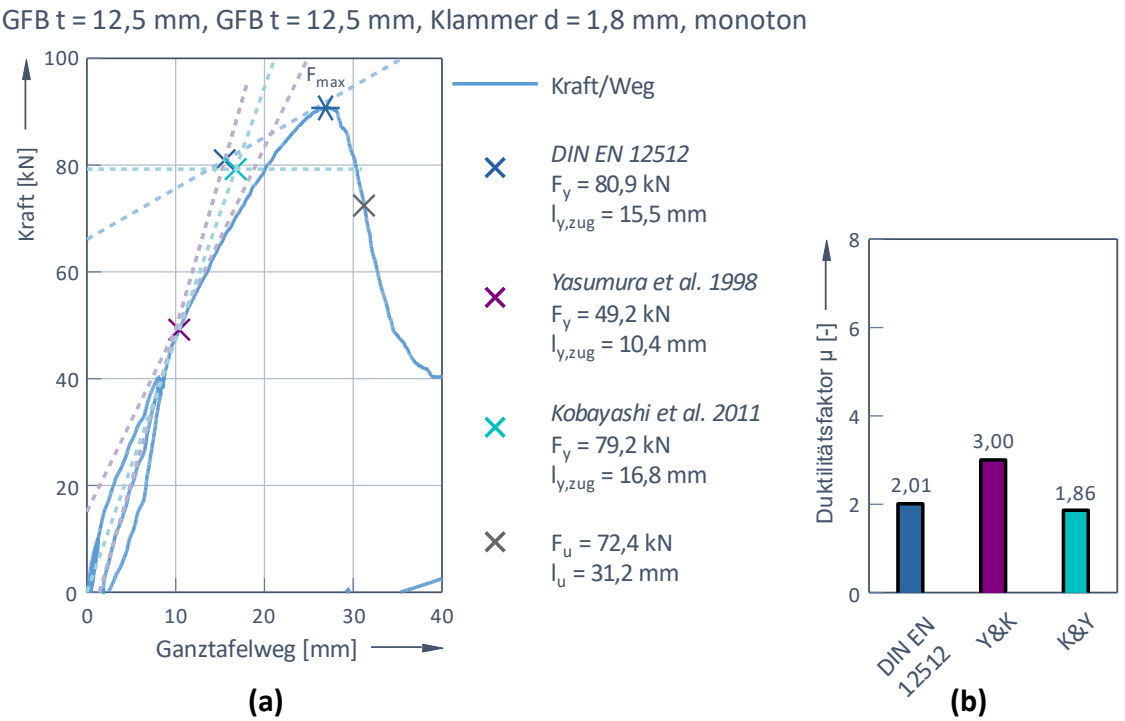


Abbildung B-137: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 08_m_2

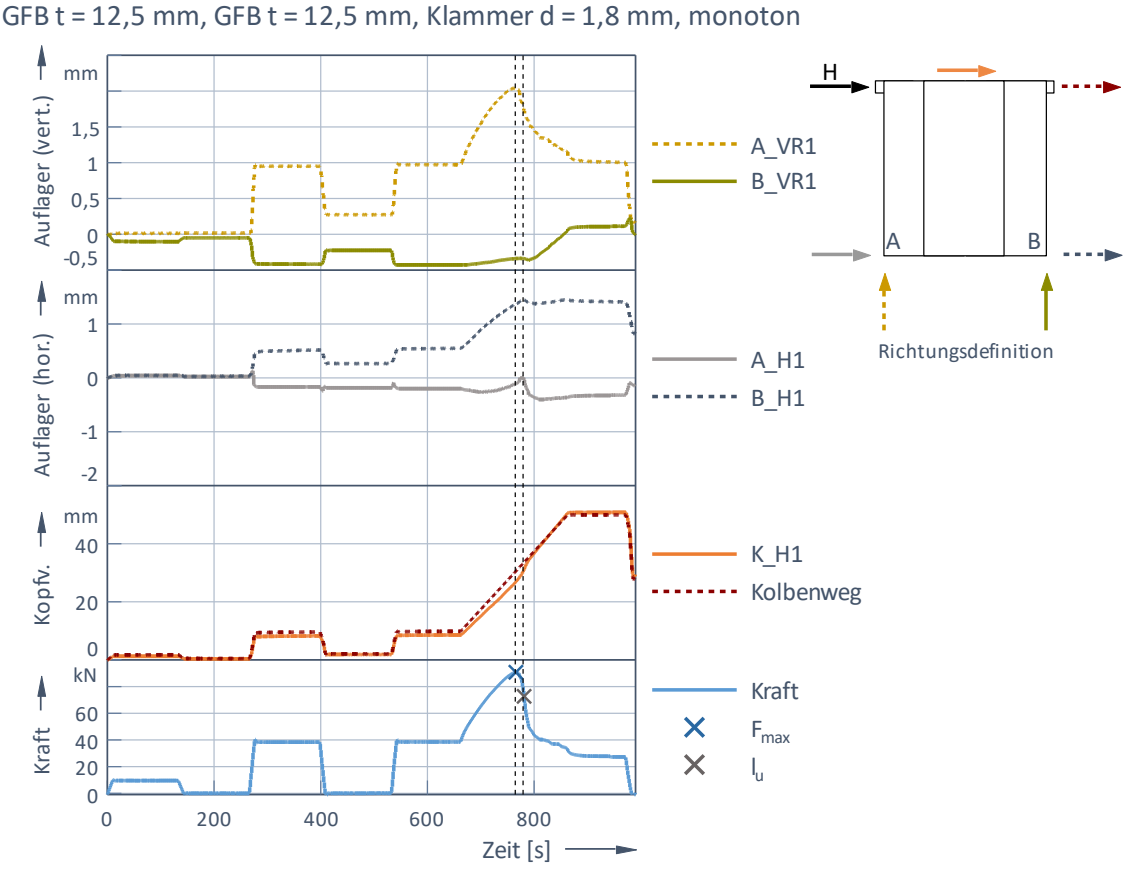


Abbildung B-138: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 08_m_2

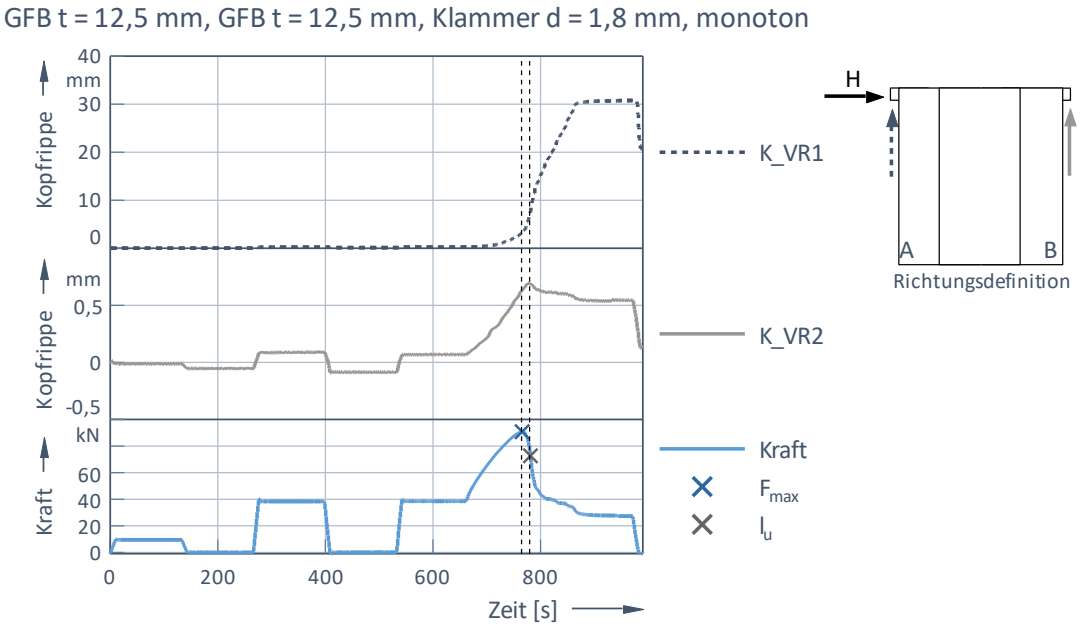


Abbildung B-139: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 08_m_2

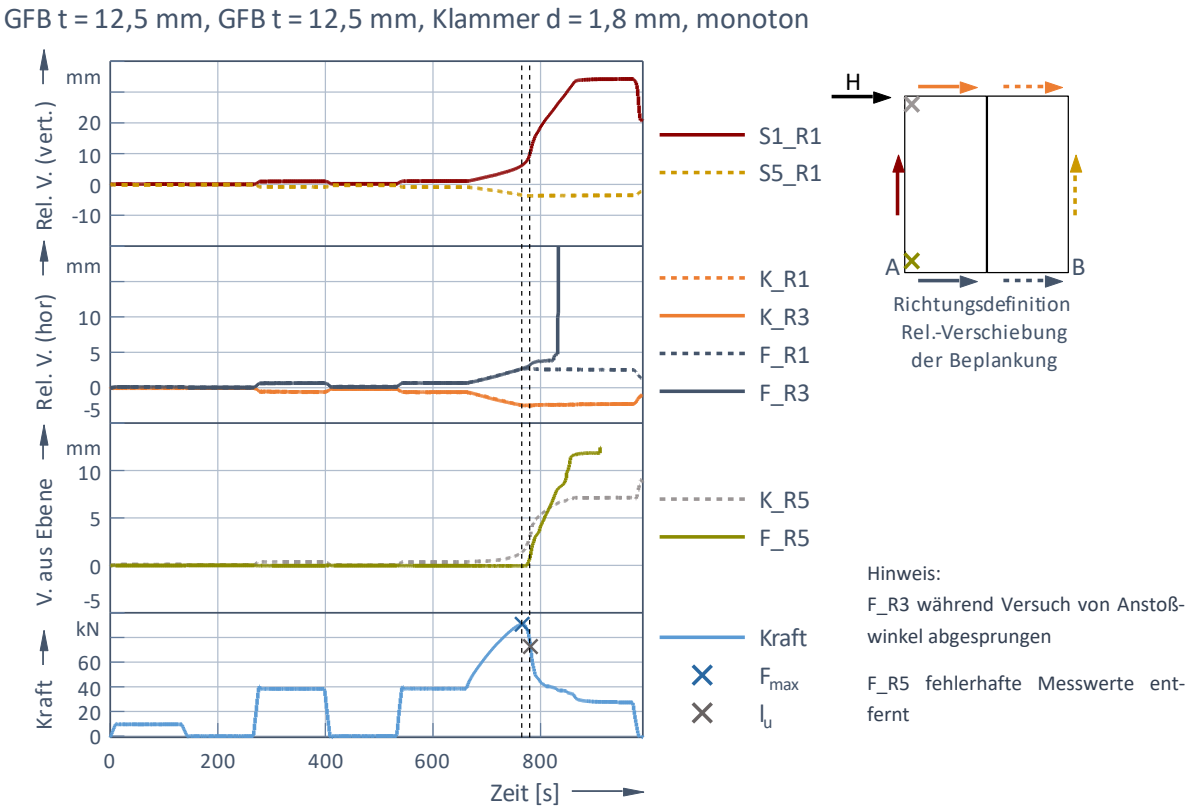


Abbildung B-140: Wegmessungen an Beplankung; WT 08_m_2

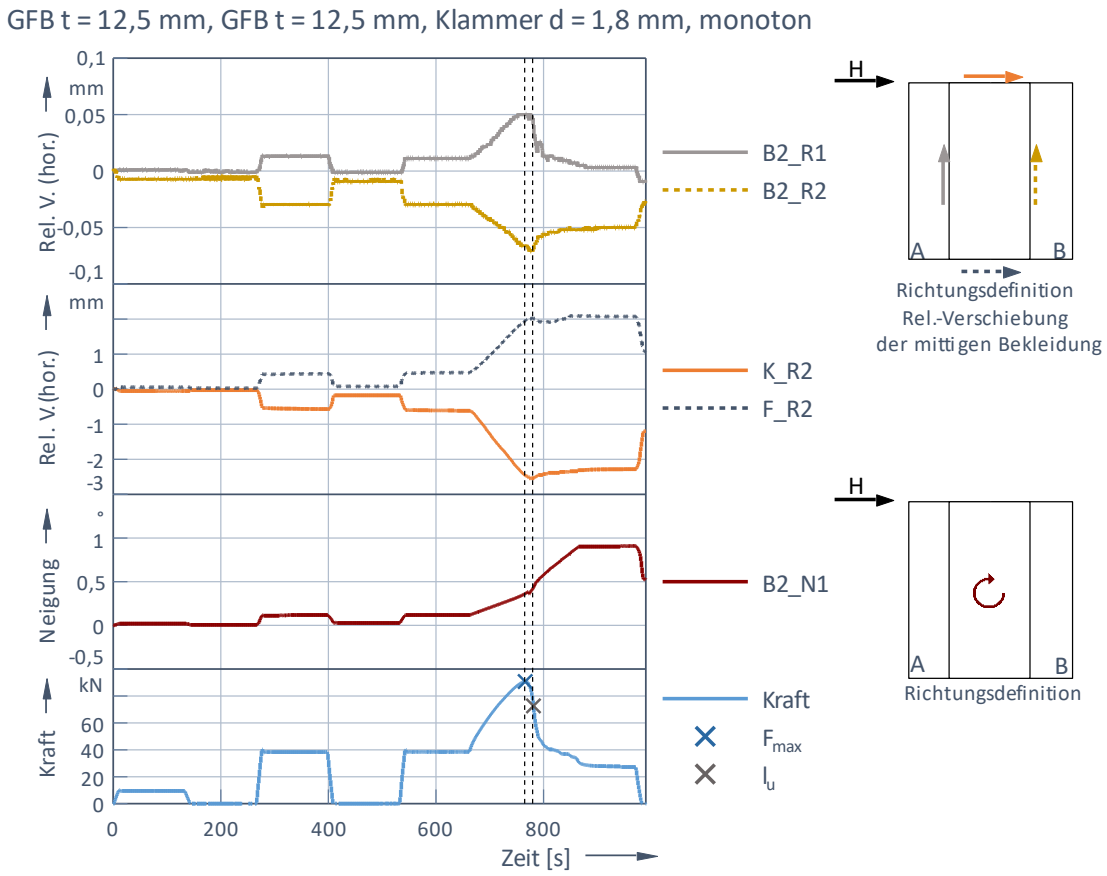


Abbildung B-141: Weg- und Neigungsmessungen an Bekleidung; WT 08_m_2

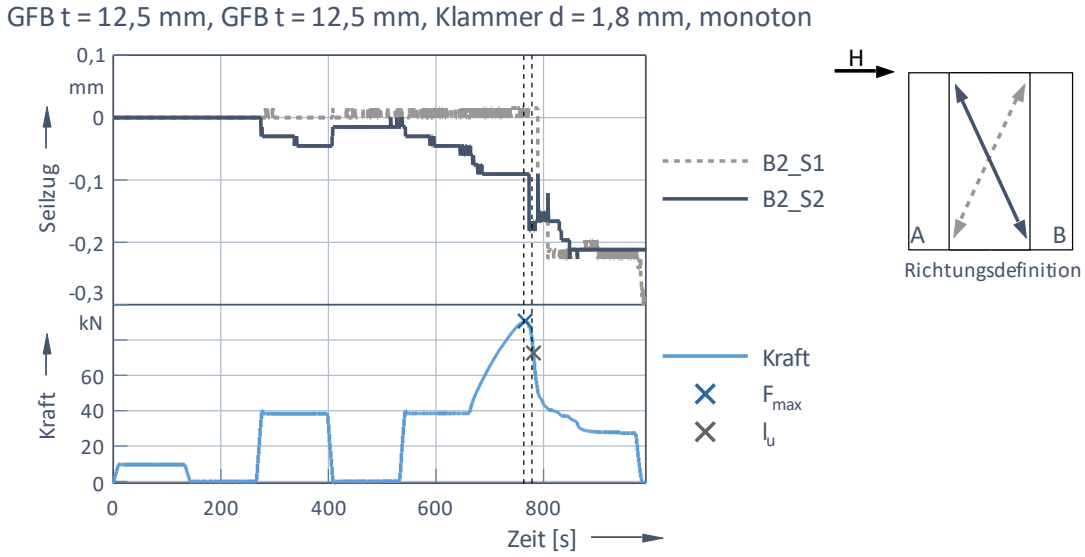


Abbildung B-142: Diagonale Wegmessungen an Bekleidung; WT 08_m_2

B.13 Wandtafel 09_m_1

Tabelle B-13: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 09_m_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	Keine	

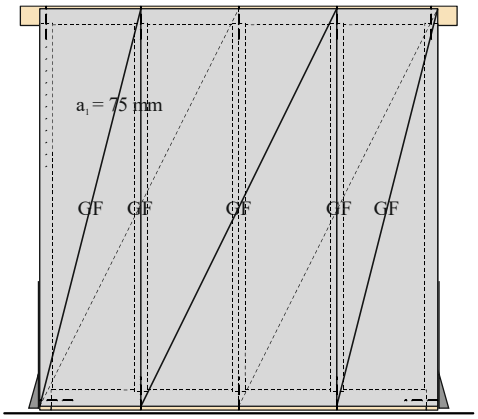


Abbildung B-143: Wandtafel 09_m_1

Untersuchung		
Datum	27.06.2023	
Raumtemperatur T	27,0 °C	
Raumfeuchte R_H	38 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 478 kg/m³ $\rho_{S5,m}$ = 348 kg/m³ $\rho_{K,m}$ = 384 kg/m³ $\rho_{ges,m}$ = 403 kg/m³	(Stiel 1) (Stiel 5) (Kopfrippe) (Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	12,8 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	97,3 kN	(GFB-Versagen Beplankung vermutlich maßgebend)

Anmerkungen

Abweichung ISO 21581:

- Grenzverschiebung l_u circa 3,9 Minuten nach Ende der Vorbelastung erreicht

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)

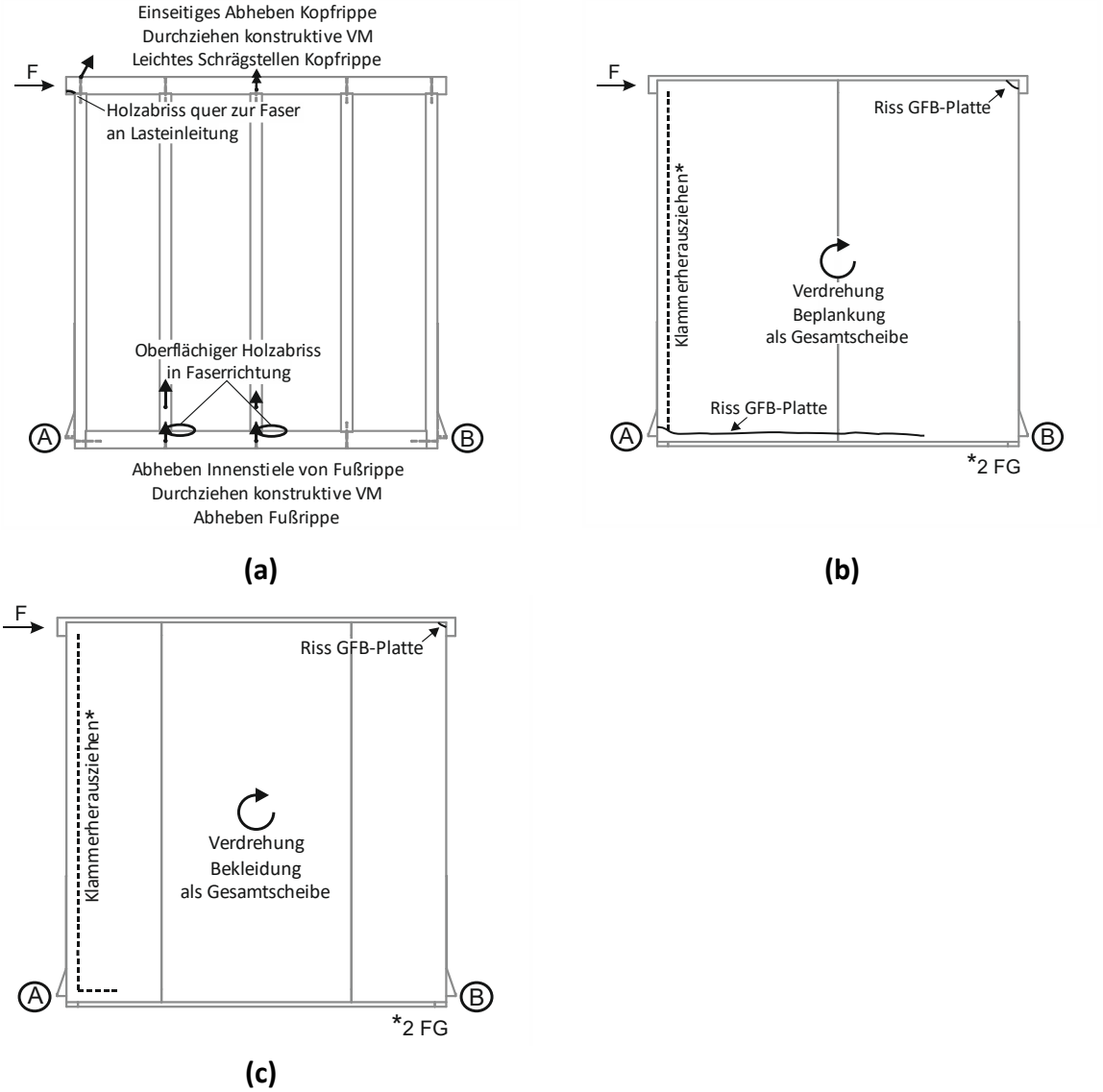
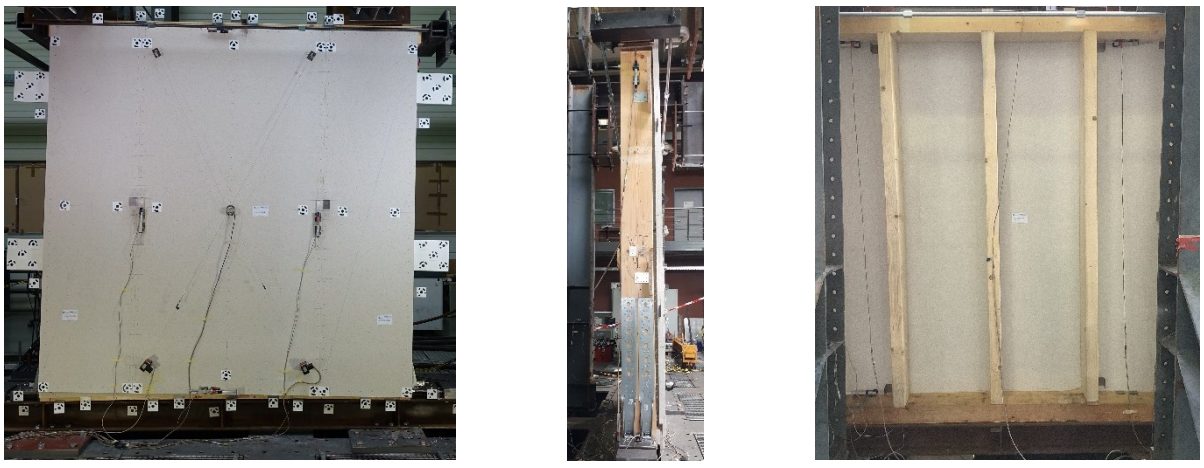
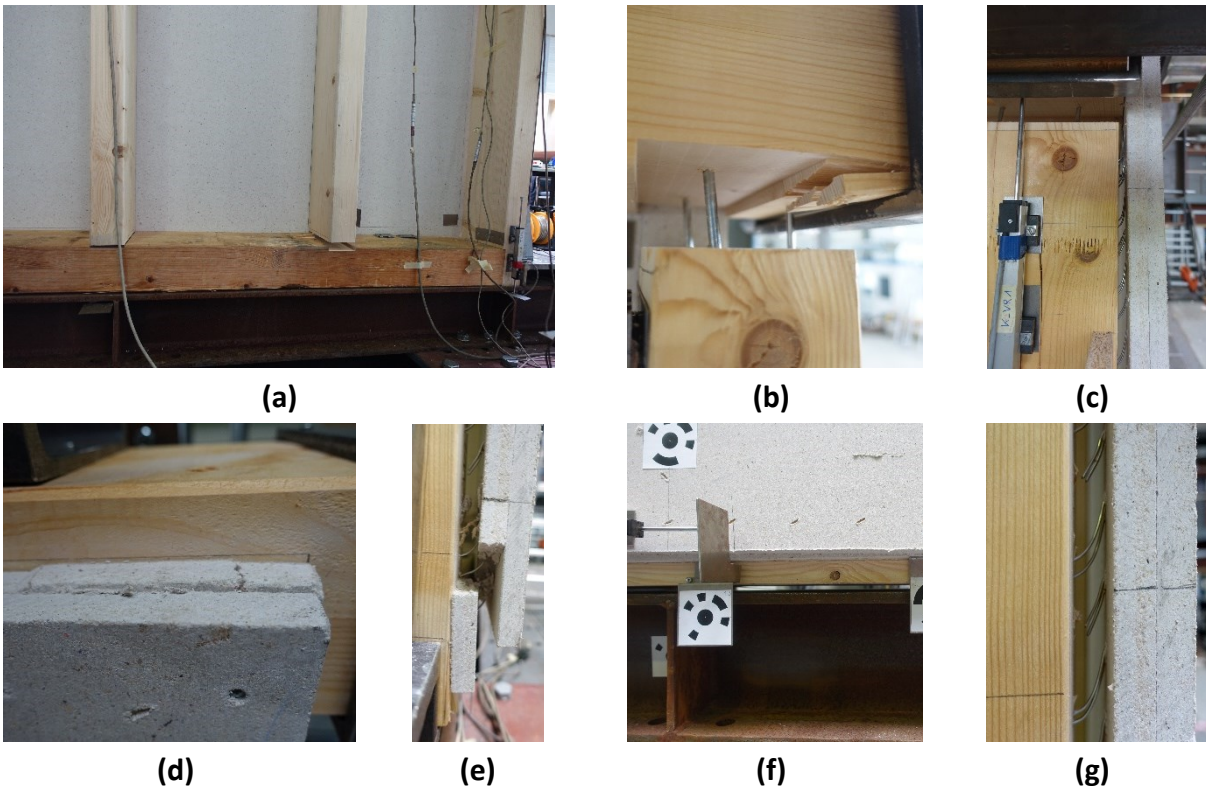


Abbildung B-144: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung (c); WT 09_m_1



(a) **(b)** **(c)**

Abbildung B-145: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 09_m_1



(a) (b) (c)

(d) (e) (f) (g)

Abbildung B-146: Abheben Stiele 2 und 3 (a), Holzabriss und Abheben Kopfrippe (b), Schrägstellen Kopfrippe und Herausziehen konstruktive Schrauben (c), Rissbildung GFB-Beplankung (d-f), Herausziehen Beplankungs- und Bekleidungsklammern (g); WT 09_m_1

Untersuchungsergebnisse

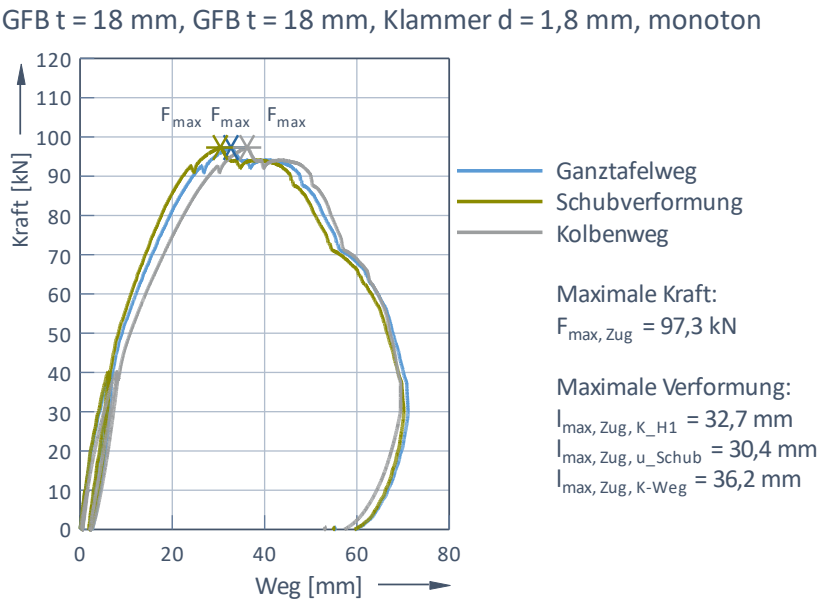


Abbildung B-147: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 09_m_1

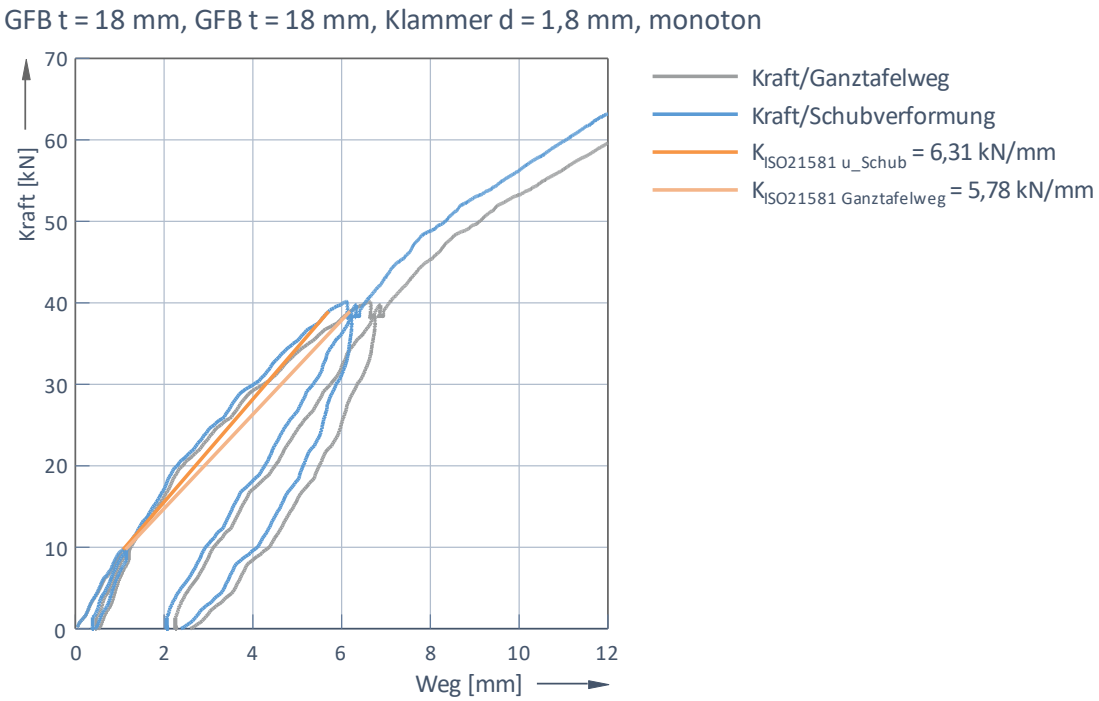


Abbildung B-148: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 09_m_1

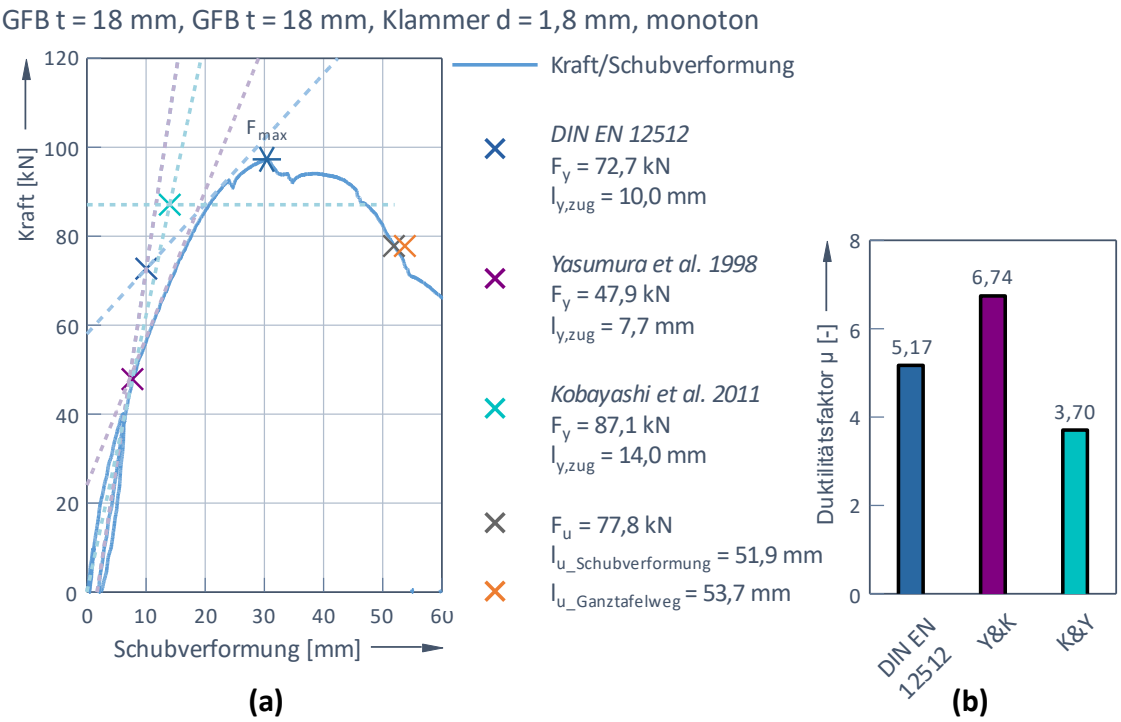


Abbildung B-149: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 09_m_1

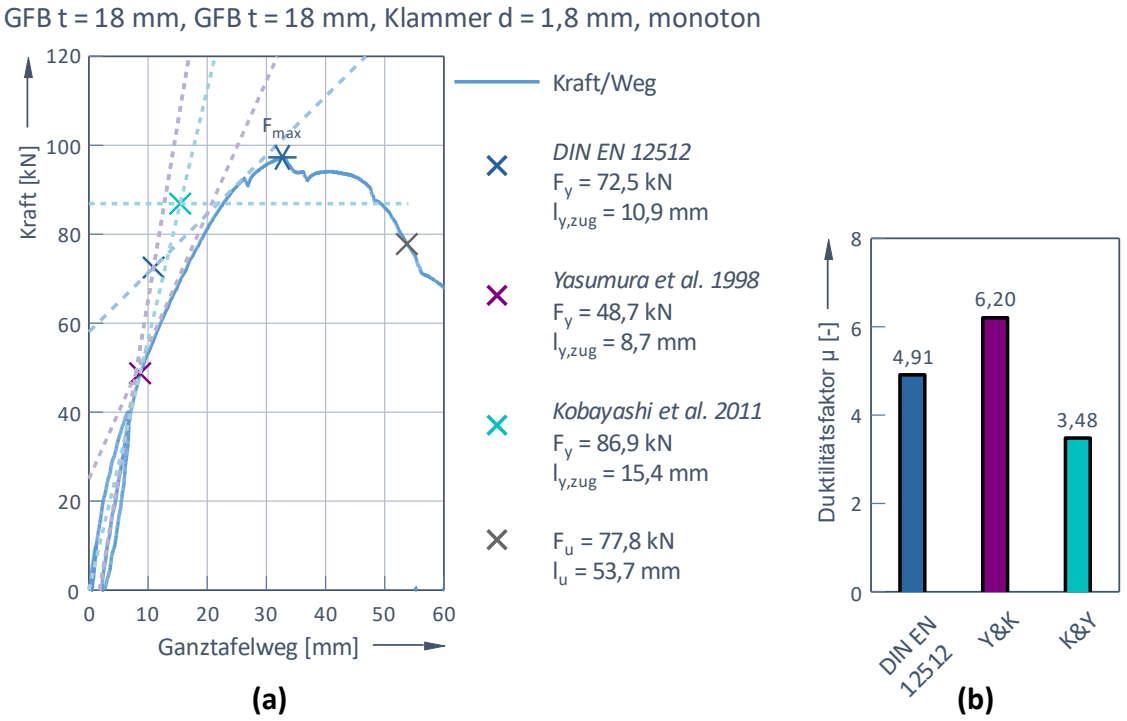


Abbildung B-150: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 09_m_1

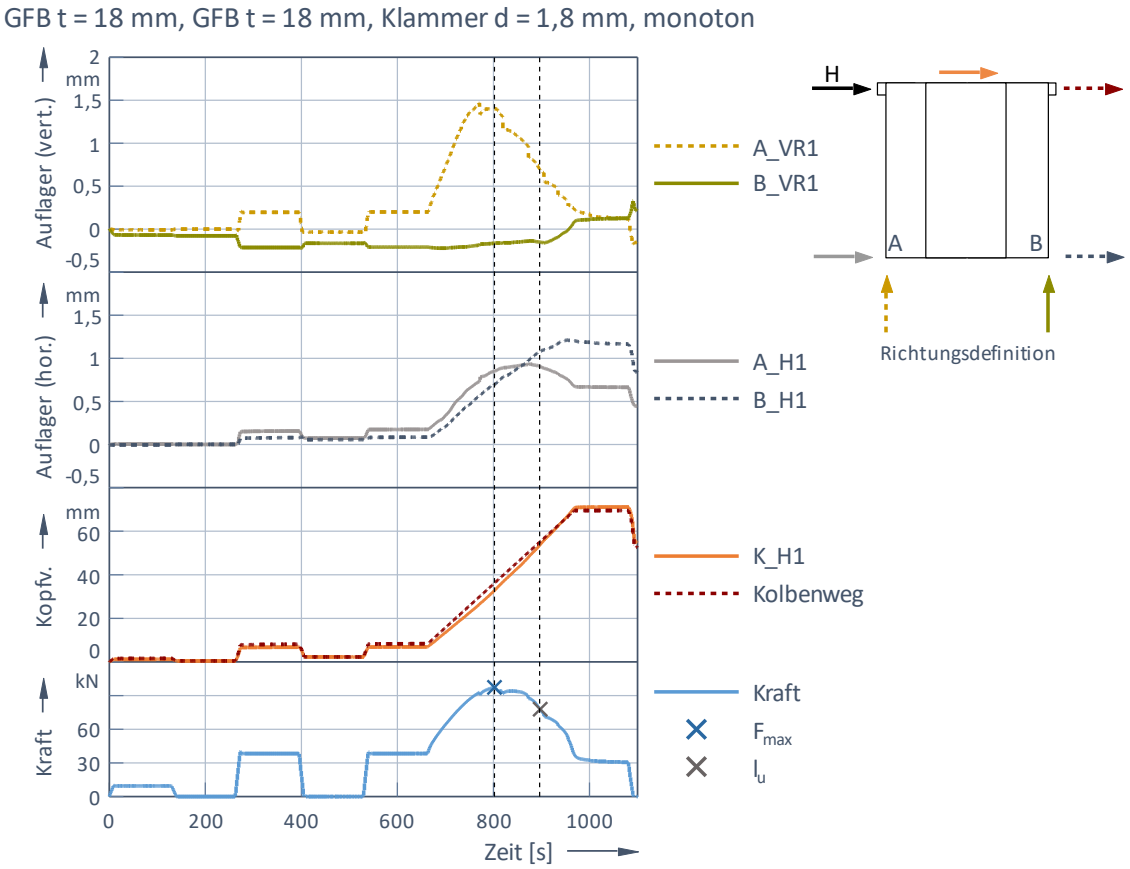


Abbildung B-151: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 09_m_1

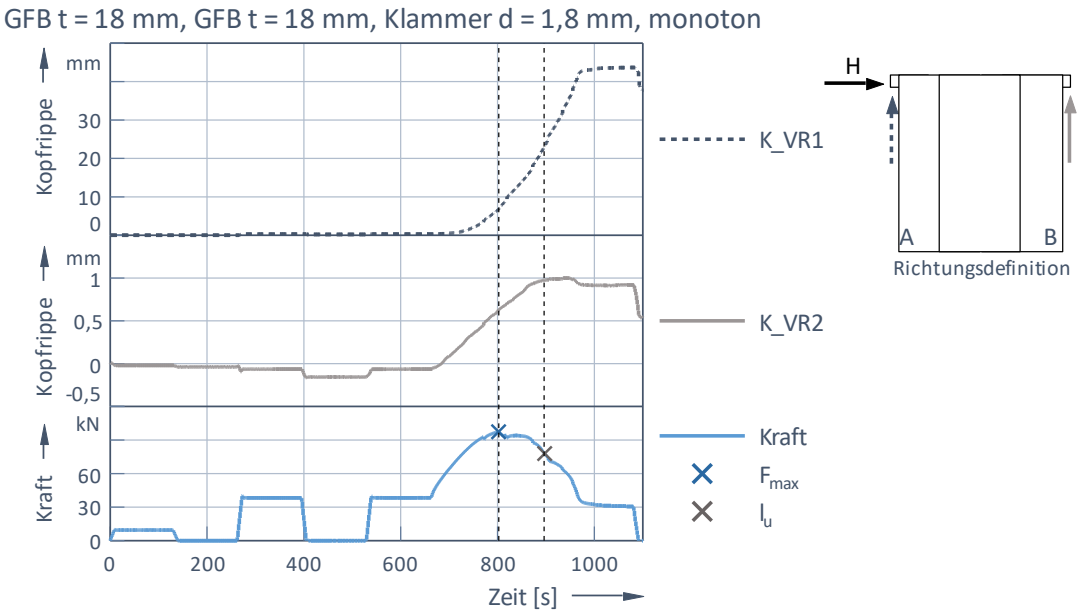


Abbildung B-152: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 09_m_1

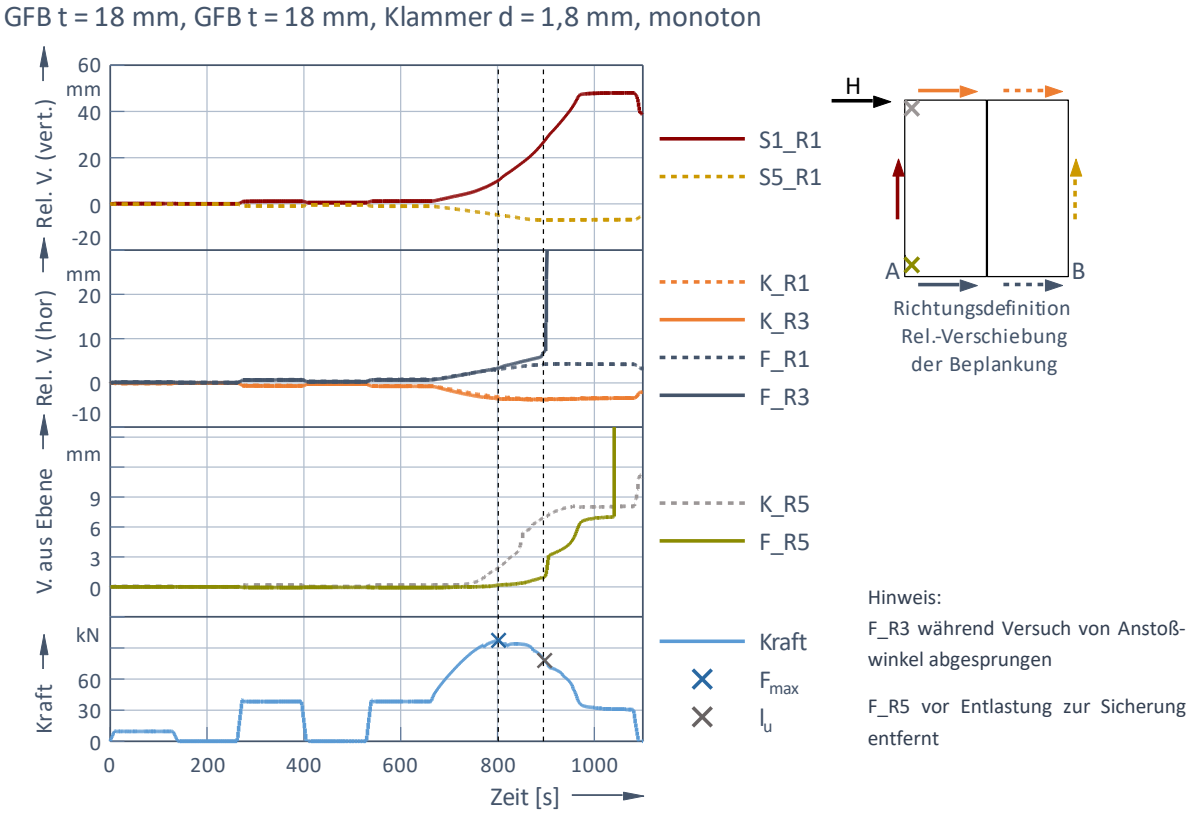


Abbildung B-153: Wegmessungen an Beplankung; WT 09_m_1

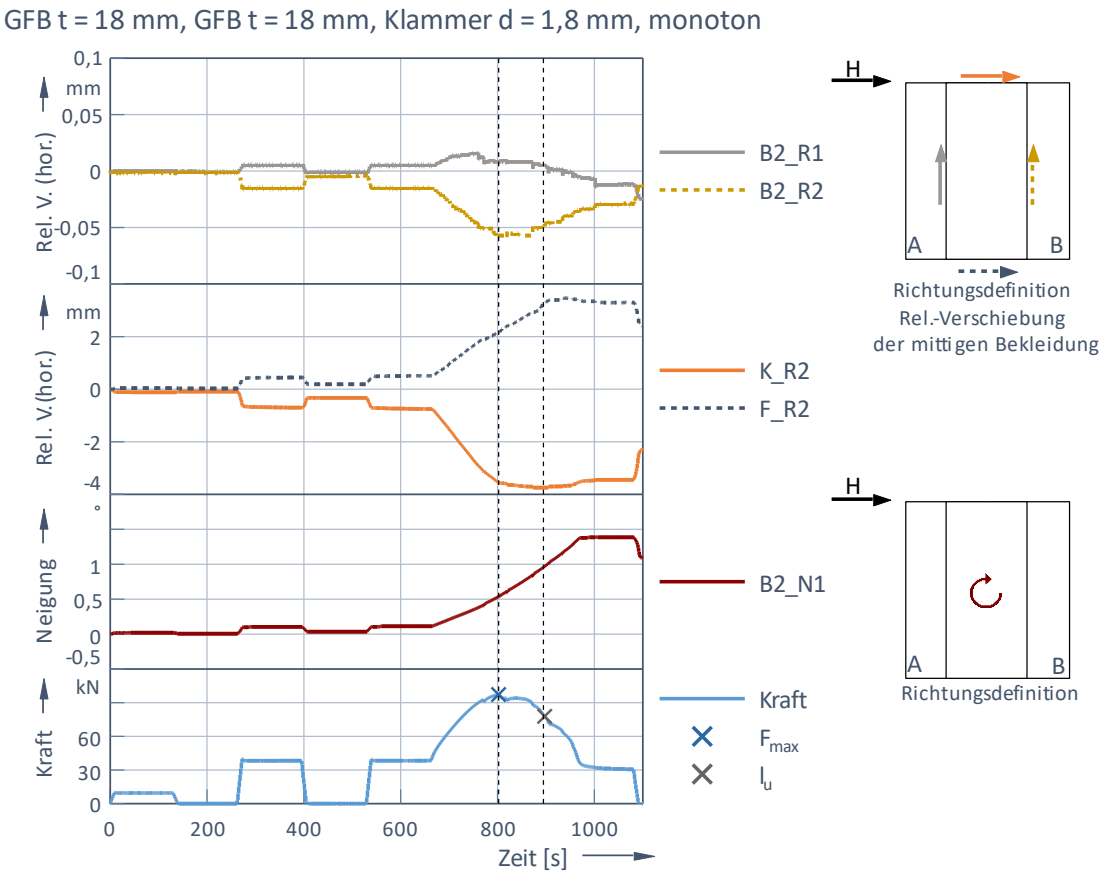


Abbildung B-154: Weg- und Neigungsmessungen an Bekleidung; WT 09_m_1

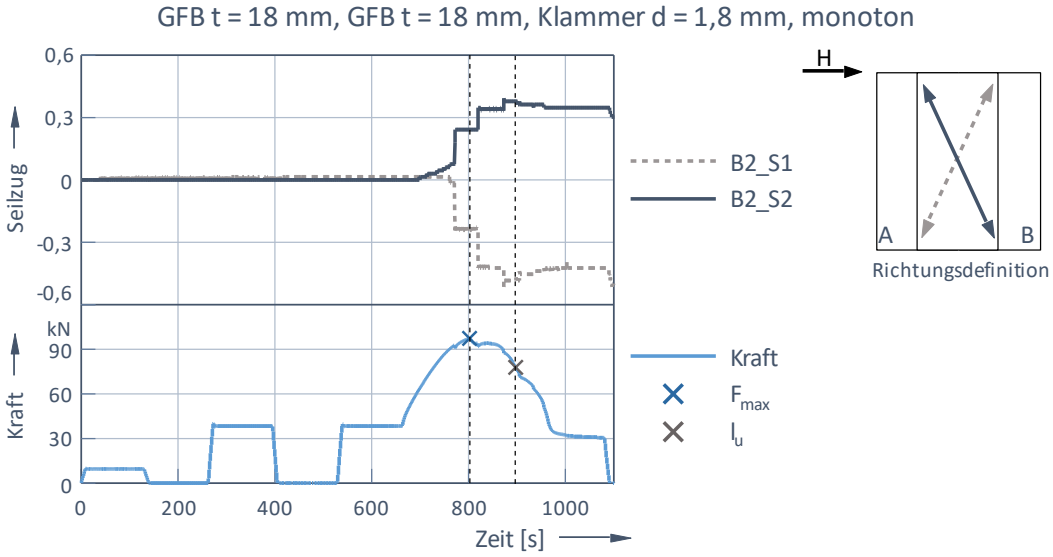


Abbildung B-155: Diagonale Wegmessungen an Bekleidung; WT 09_m_1

B.14 Wandtafel 10_m_1

Tabelle B-14: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 10_m_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Spreizklammern: Ø 1,53 - 35 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	Keine	

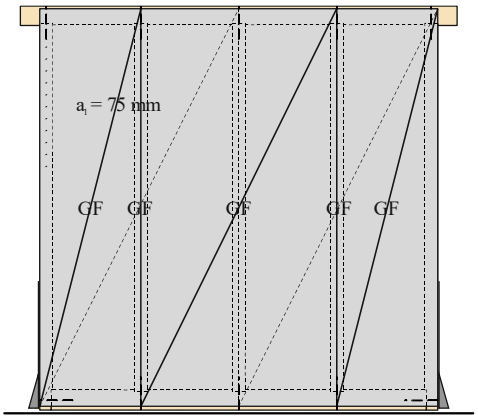


Abbildung B-156: Wandtafel 10_m_1

Untersuchung		
Datum	26.06.2023	
Raumtemperatur T	27,8 °C	
Raumfeuchte R_H	45 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 389 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 457 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 505 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 450 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	14,9 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Monoton
Belastung	0,2 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximalkraft	65,2 kN	(GFB-Versagen Beplankung maßgebend)

Anmerkungen

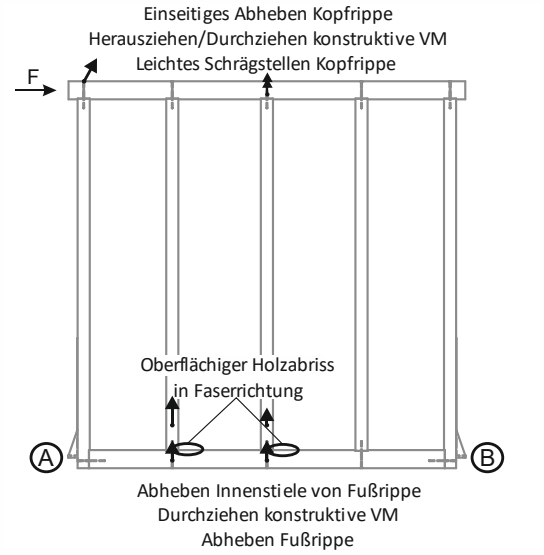
Abweichung ISO 21581:

- Grenzverschiebung l_u circa 3,6 Minuten nach Ende der Vorbelastung erreicht

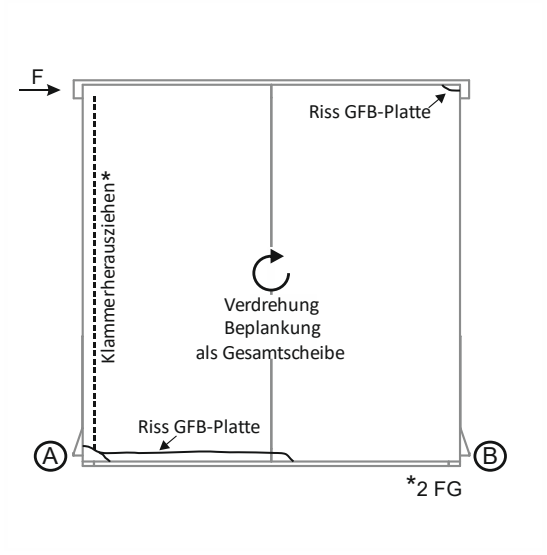
Während Versuch:

- Rissbildung in Beplankung 1 über Auflager A bei Erreichen der Maximaltragfähigkeit

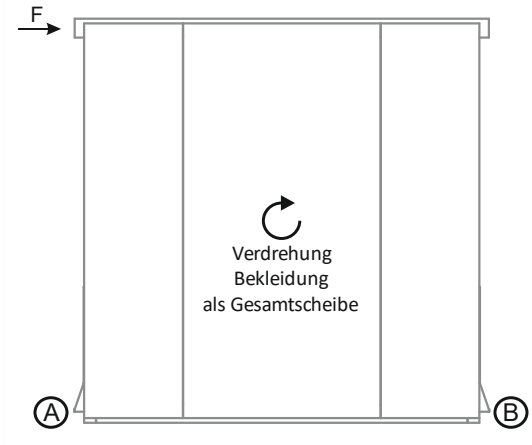
Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



(a)

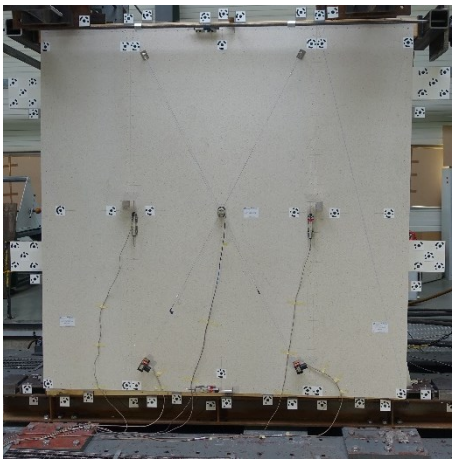


(b)



(c)

Abbildung B-157: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung (c); WT 10_m_1



(a)

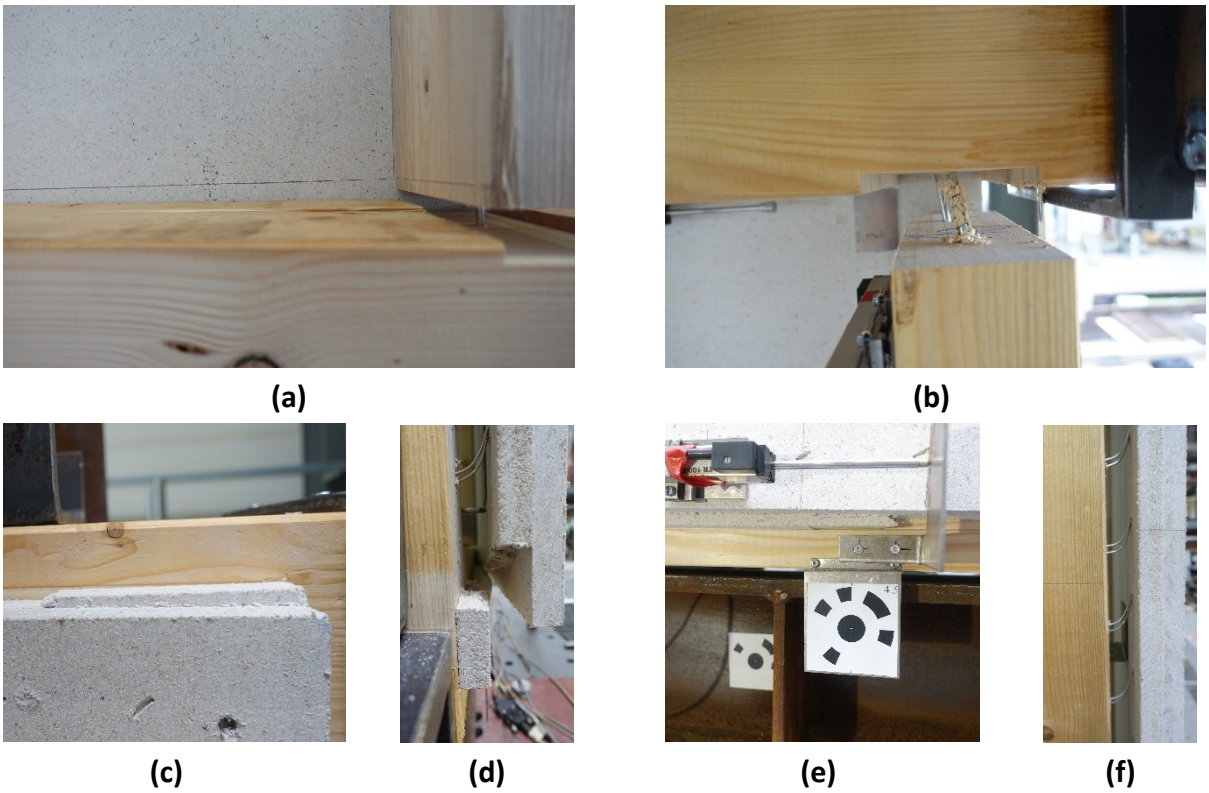


(b)



(c)

Abbildung B-158: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 10_m_1



(a) (b)

(c) (d) (e) (f)

Abbildung B-159: Abheben Stiel 2 und Holzabriss Fußrippe (a), Herausziehen und Durchziehen konstruktive Schrauben Kopfrippe (b), Rissbildung GFB-Beplankung (c-e), Herausziehen Beplankungsklammern (f); WT 10_m_1

Untersuchungsergebnisse

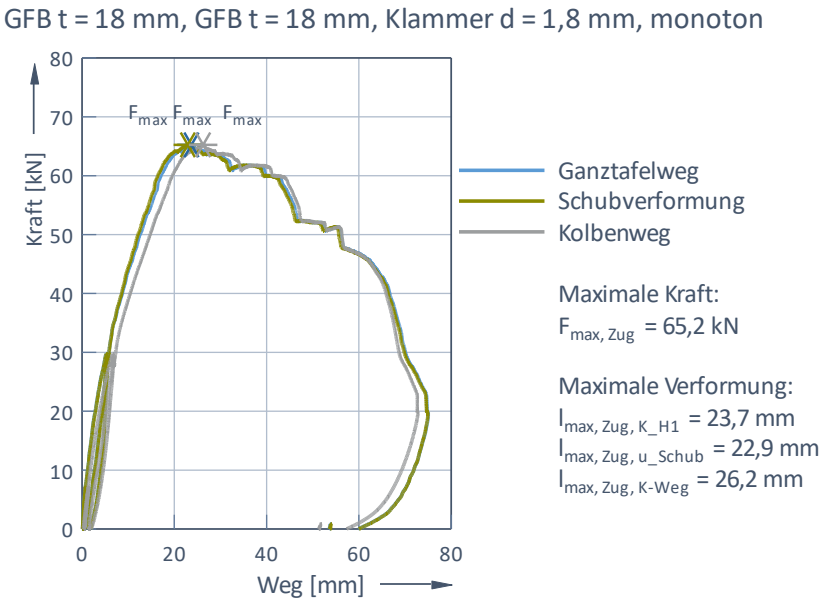


Abbildung B-160: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg, Schubverformung und Kolbenweg; WT 10_m_1

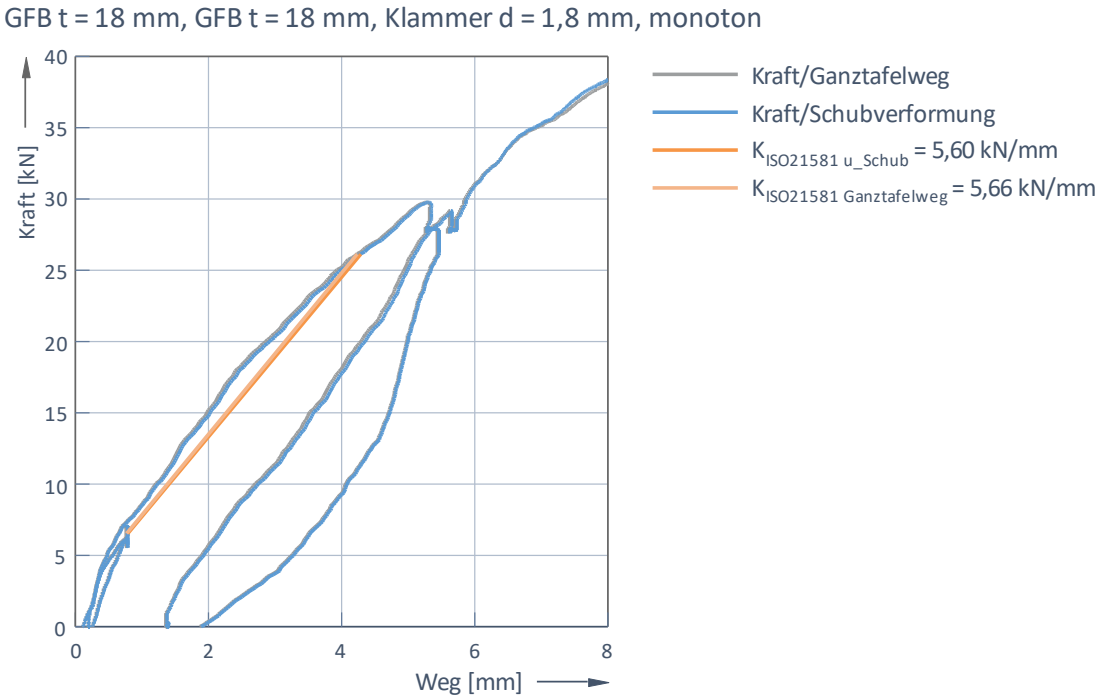


Abbildung B-161: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 10_m_1

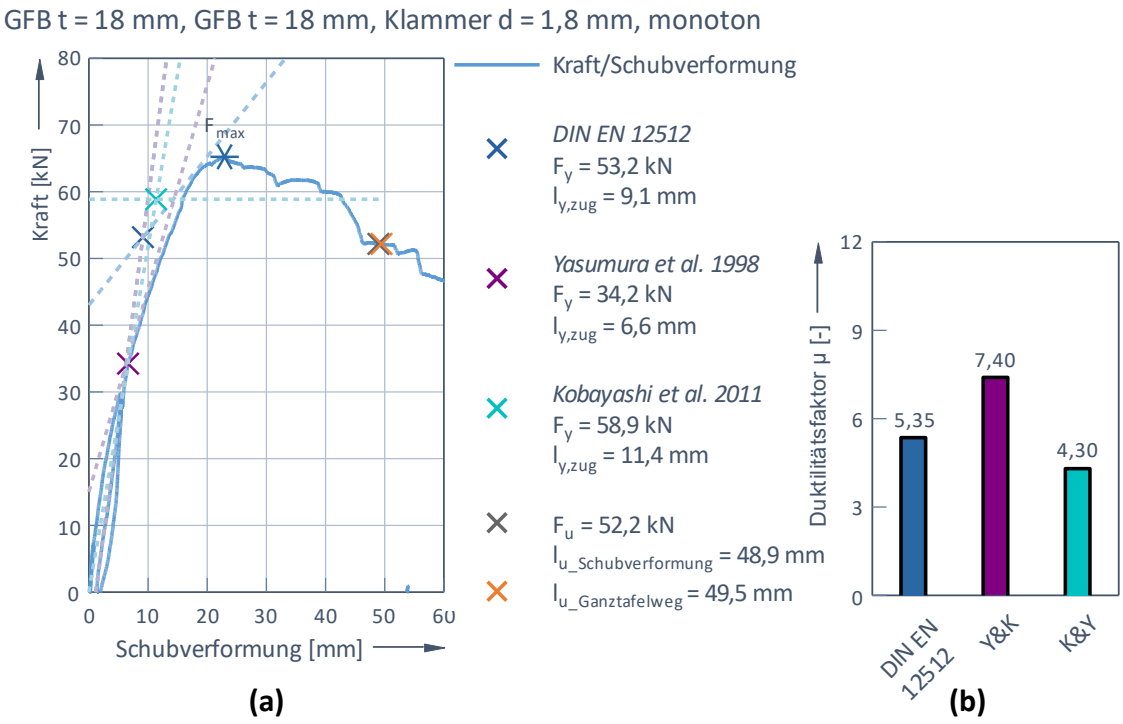


Abbildung B-162: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 10_m_1

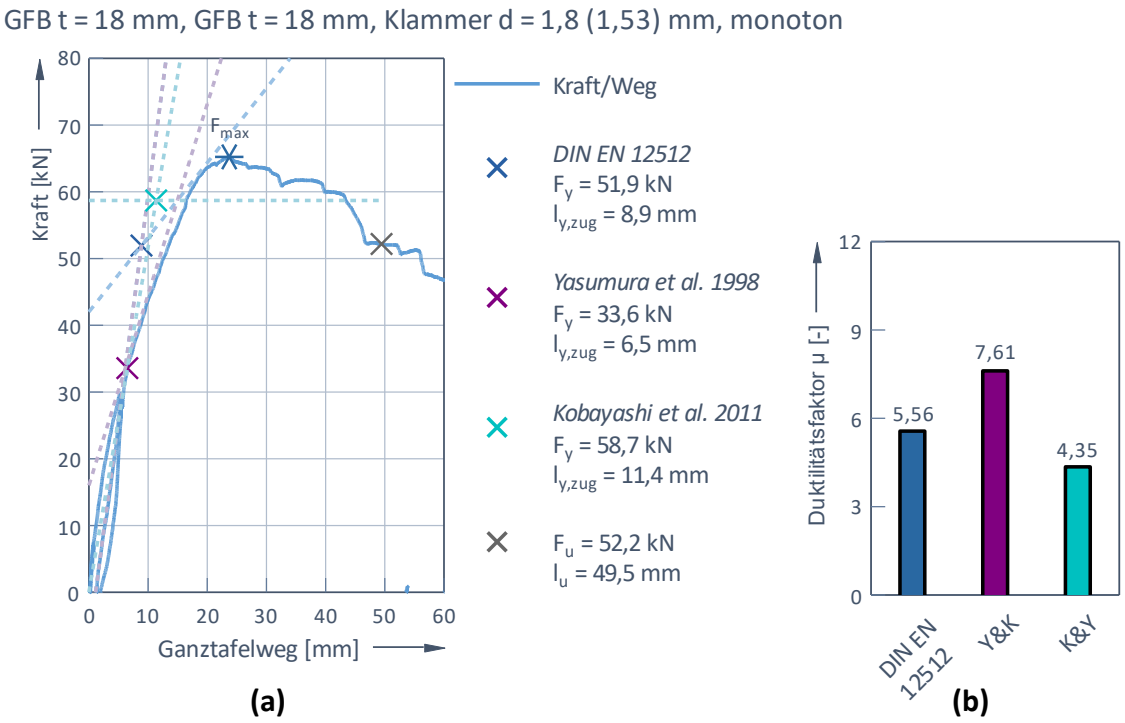


Abbildung B-163: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 10_m_1

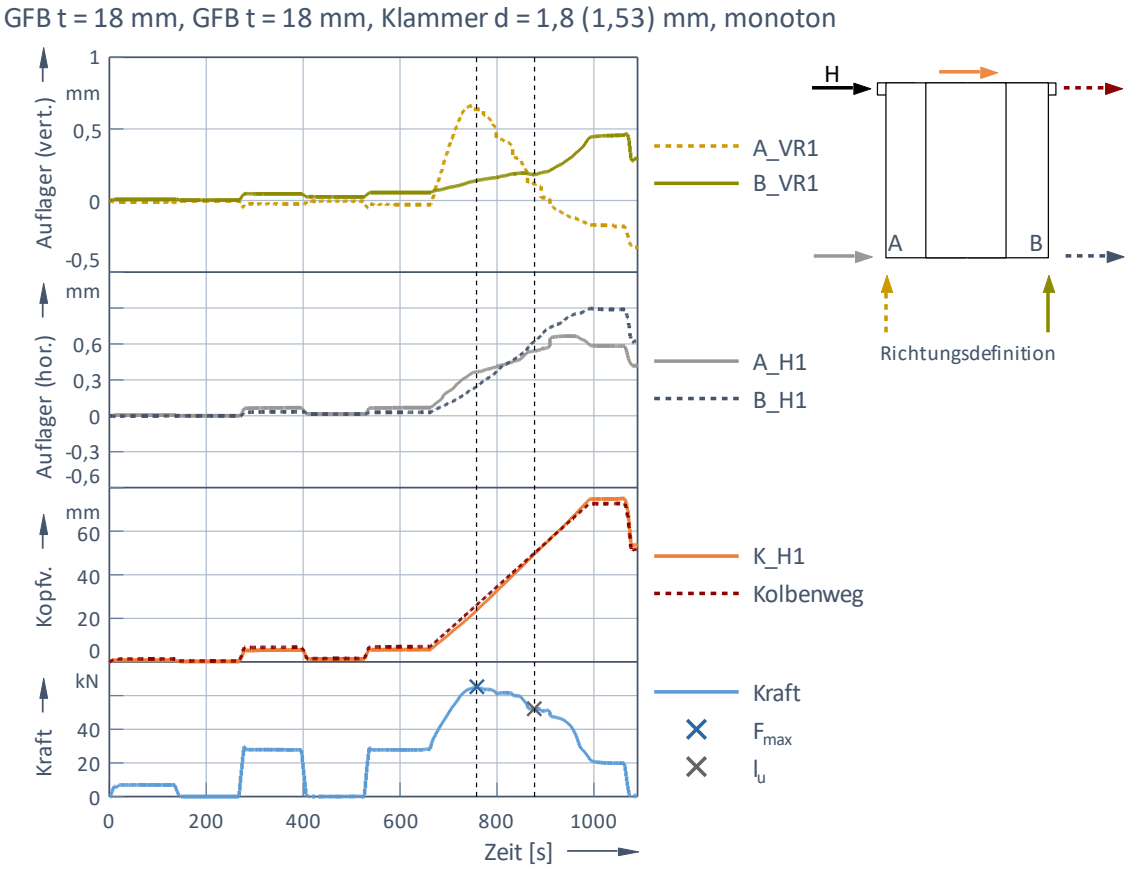


Abbildung B-164: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 10_m_1

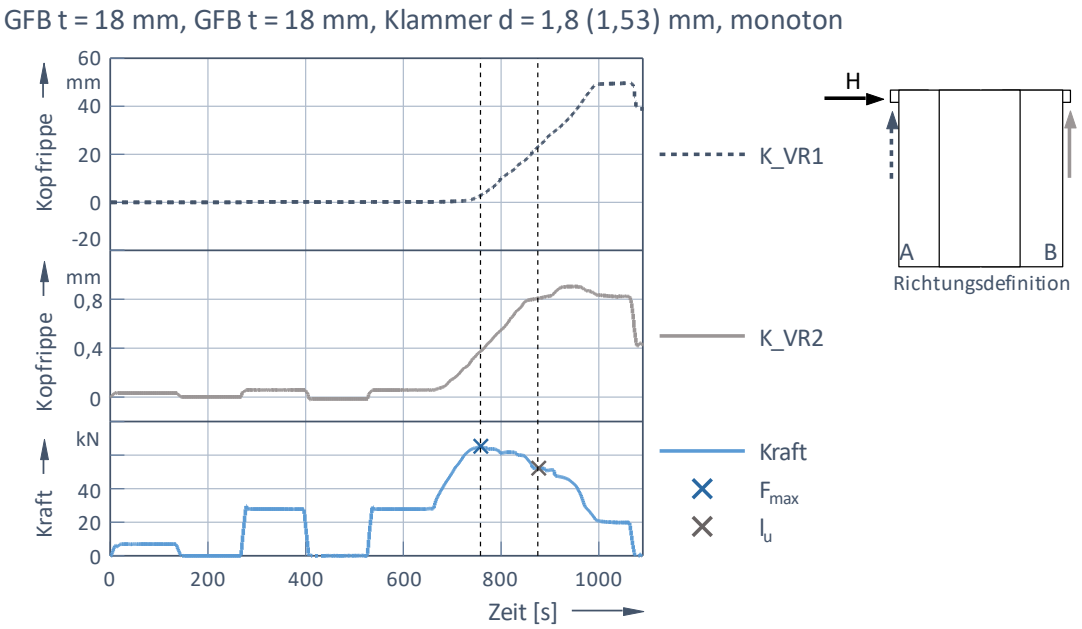


Abbildung B-165: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 10_m_1

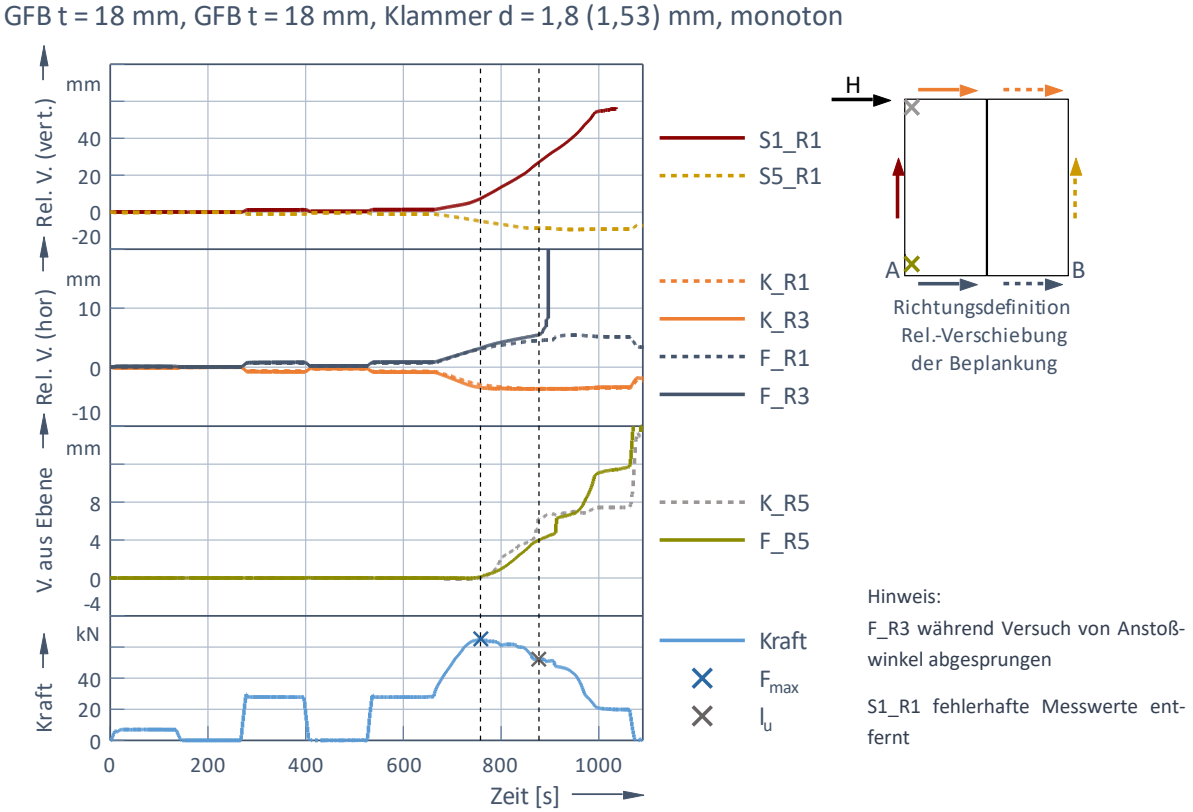


Abbildung B-166: Wegmessungen an Beplankung; WT 10_m_1

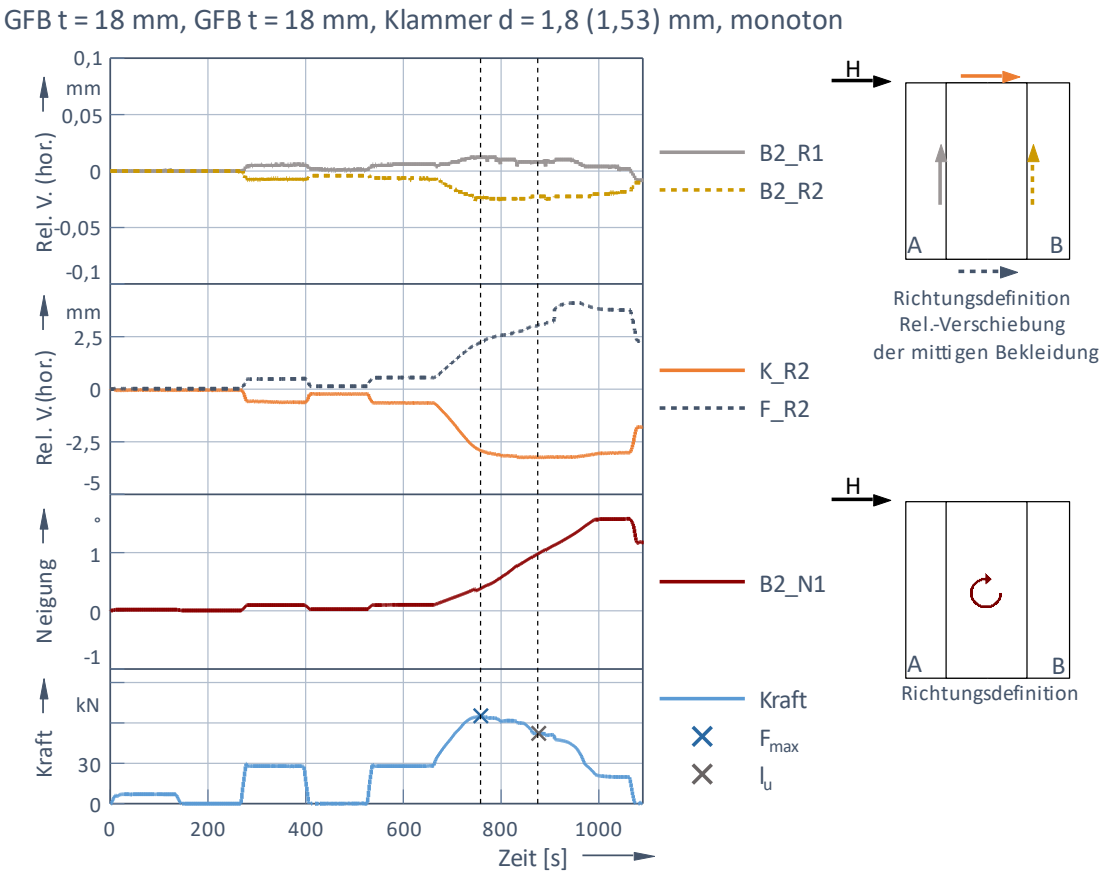


Abbildung B-167: Weg- und Neigungsmessungen an Bekleidung; WT 10_m_1

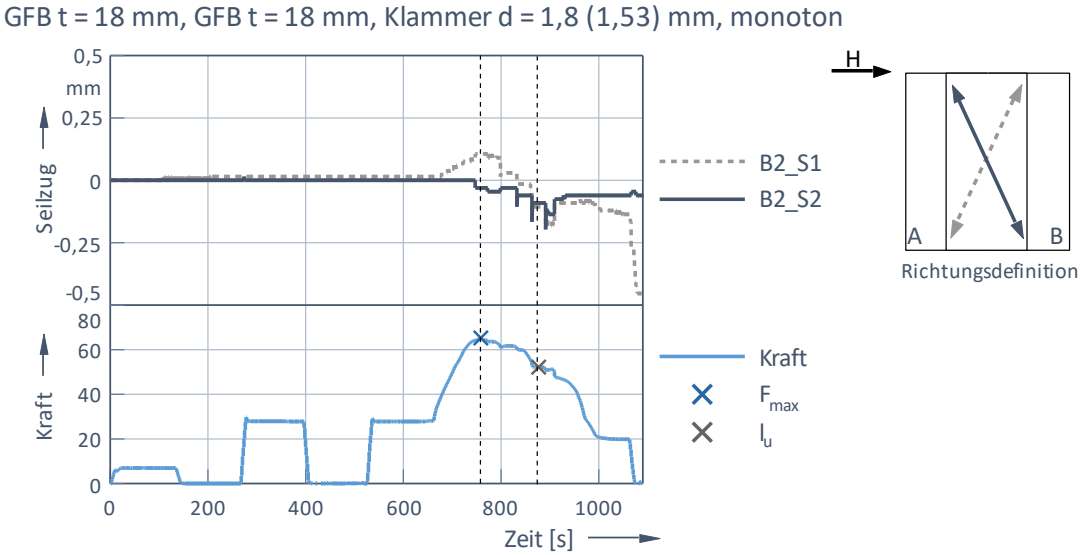


Abbildung B-168: Diagonale Wegmessungen an Bekleidung; WT 10_m_1

B.15 Wandtafel 01_c_1

Tabelle B-15: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 01_c_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	OSB/3, t = 15 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	Keine	
Bekleidung 2:	Keine	

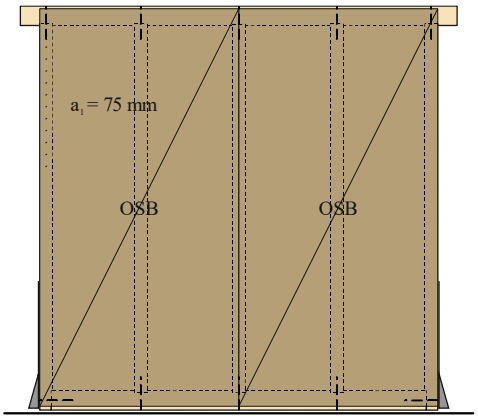


Abbildung B-169: Wandtafel 01_c_1

Untersuchung		
Datum	14.07.2023	
Raumtemperatur T	26,8 °C	
Raumfeuchte R_H	41 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 484 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 454 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = k.A.	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 469 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	13,0 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Zyklisch
Belastung	1,0 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximal-/Minimalkraft	51,3 kN / -39,5 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

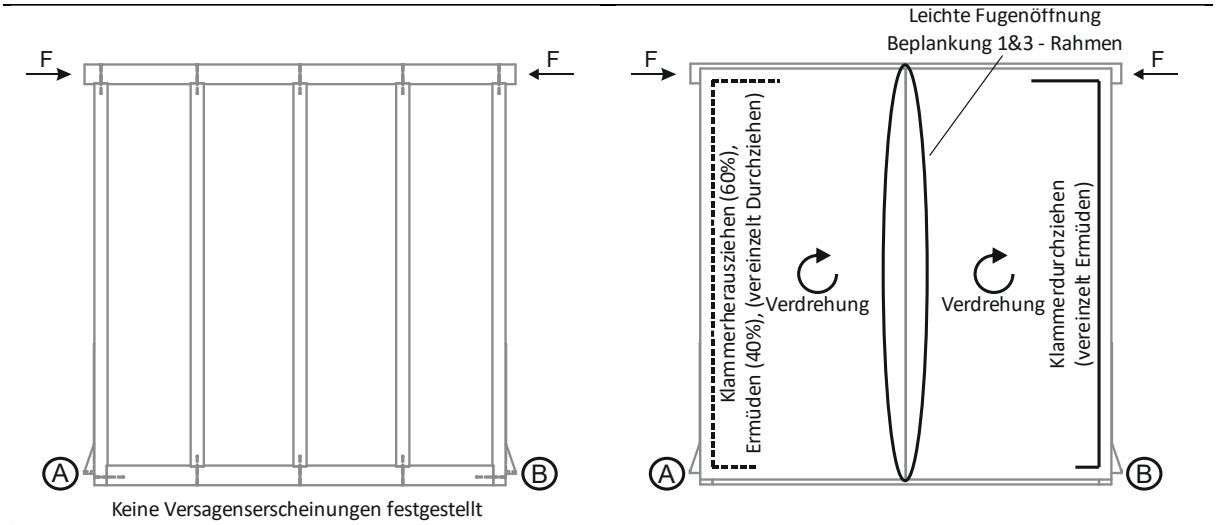
Abweichung ISO 21581:

- Grenzverschiebung l_u circa 33 Minuten nach Belastungsbeginn erreicht

Während Versuch:

- Fugenöffnung zwischen Stiel 1 und Beplankung oben
- Fugenöffnung zwischen Stiel 5 und Beplankung unten

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)

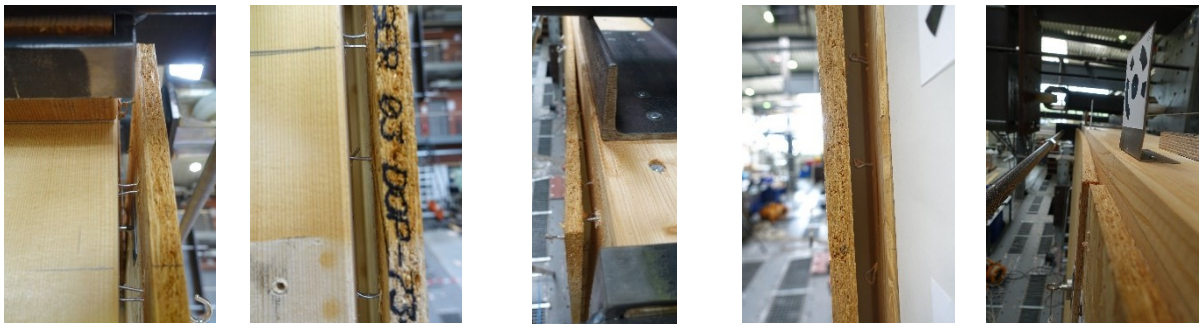


(a) **(b)**

Abbildung B-170: Versagensbilder Rahmen (a) und Beplankung (b); WT 01_c_1



(a) **(b)** **(c)**



(d) **(e)** **(f)** **(g)** **(h)**

Abbildung B-171: Versagensbild Vorderseite (a) und Rückseite (c), Seitenansicht Stiel 1 (b), Klammerversagen und Ablösen der Beplankungen 1 und 2 (d-h); WT 01_c_1

Untersuchungsergebnisse

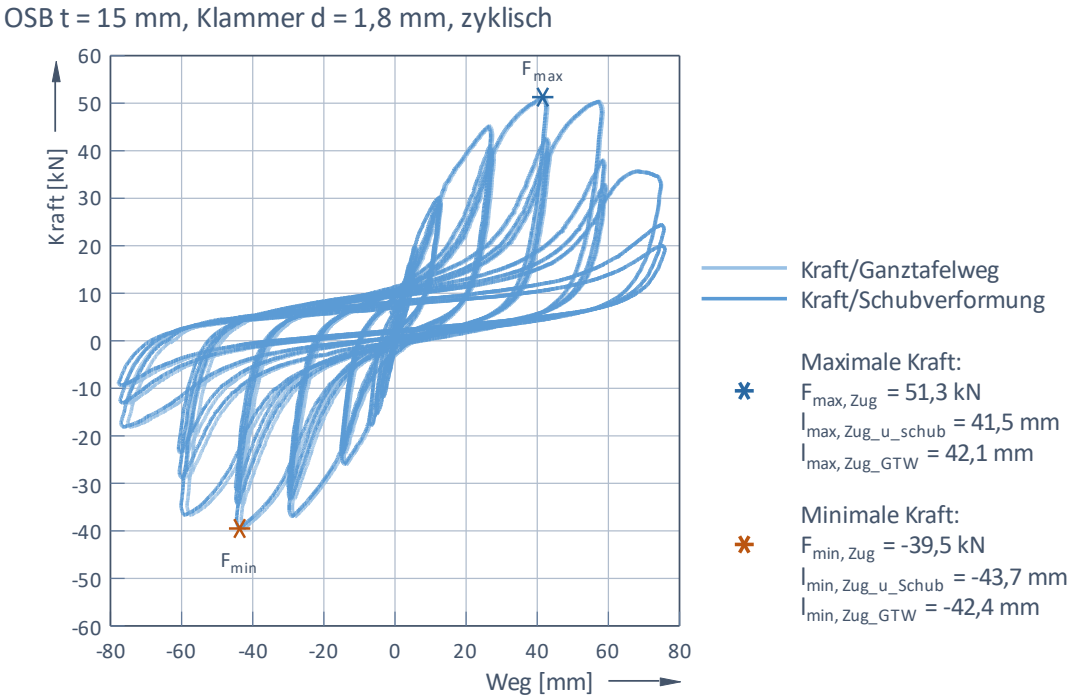


Abbildung B-172: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg und Schubverformung; WT 01_c_1

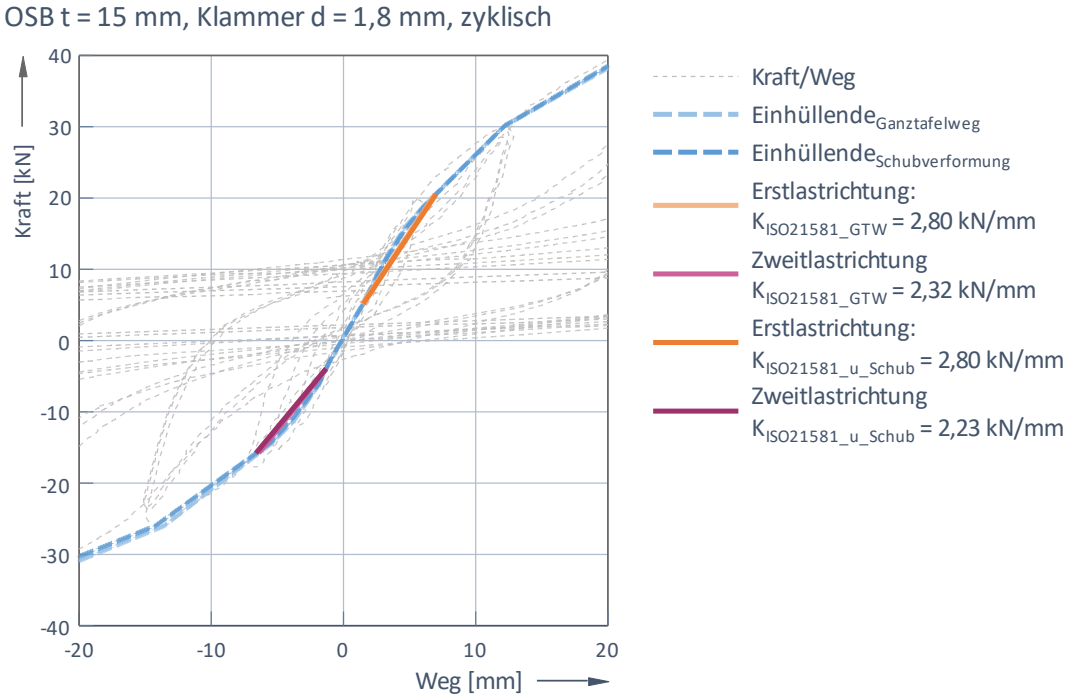


Abbildung B-173: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 01_c_1

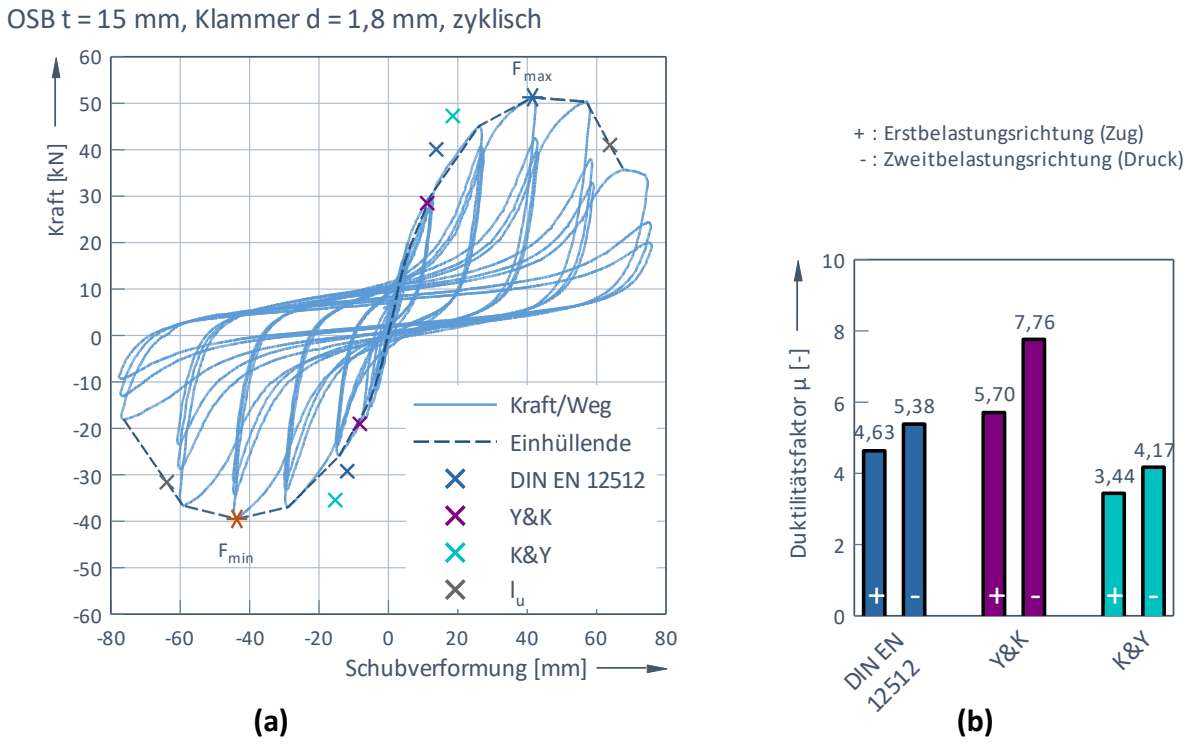


Abbildung B-174: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 01_c_1

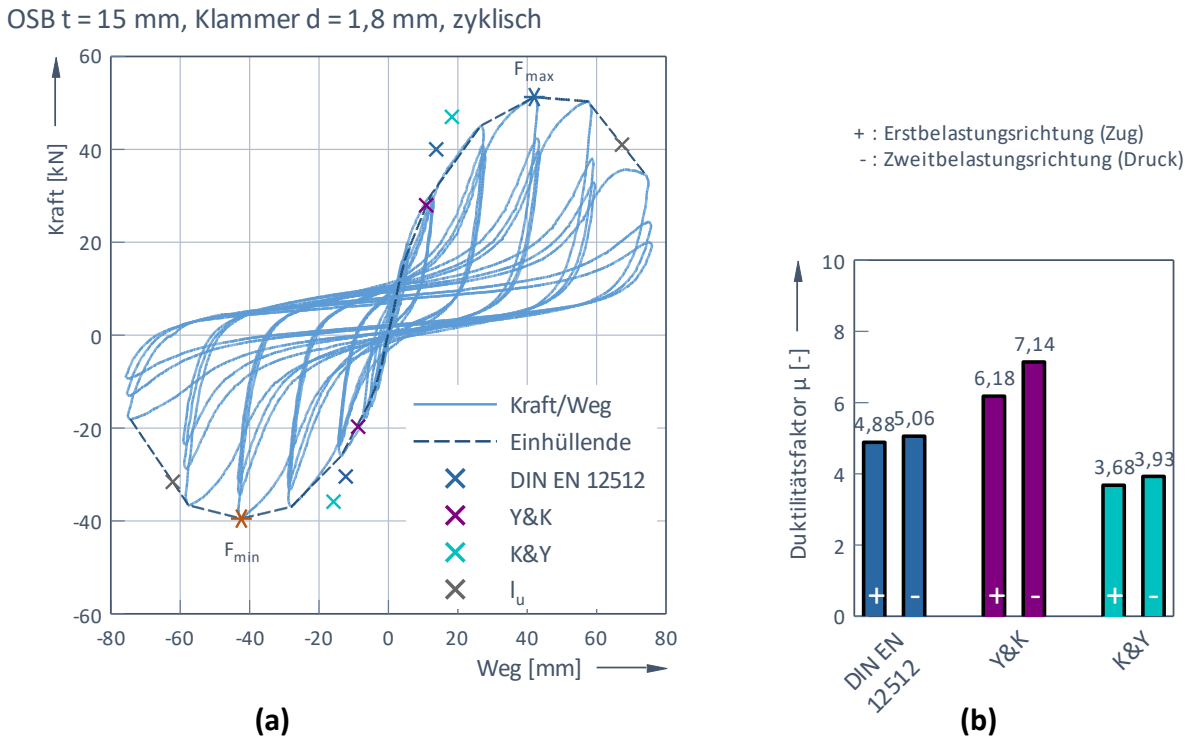


Abbildung B-175: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 01_c_1

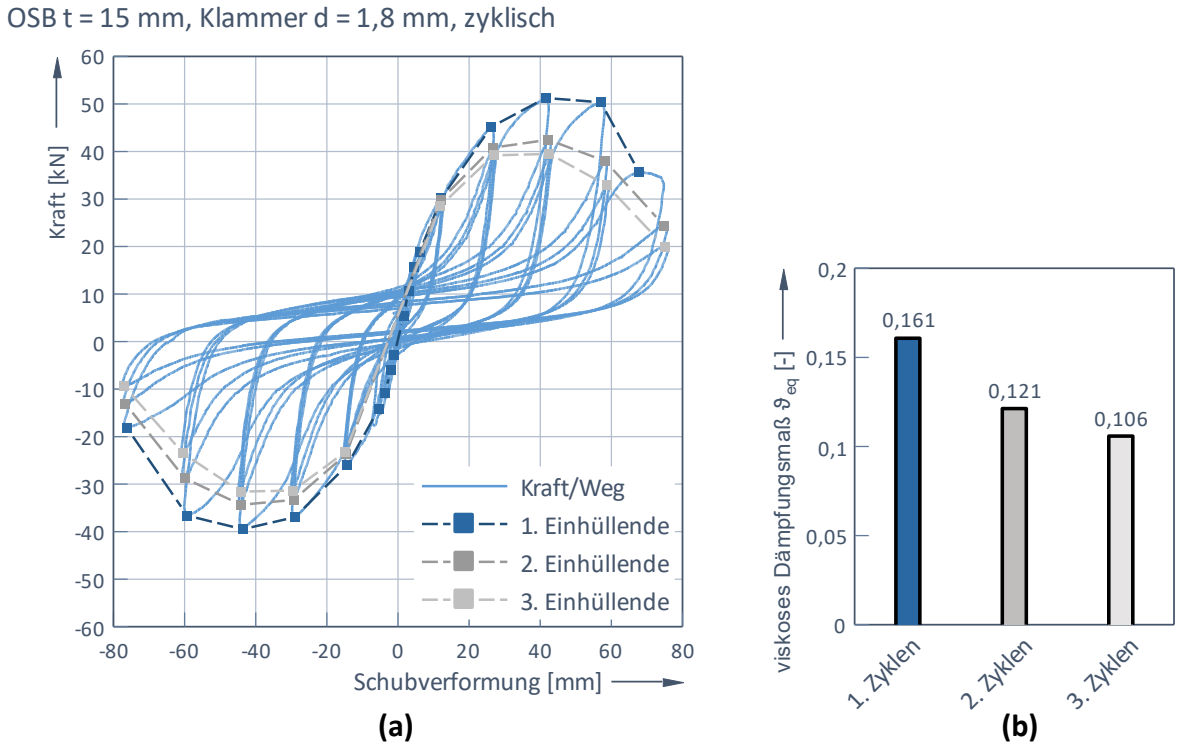


Abbildung B-176: Einhüllende (a) und Vergleich des mittleren viskosen Dämpfungsmaßes in den ersten bis dritten Gesamtzyklen der 3er-Zyklen-Kollektive (b); WT 01_c_1

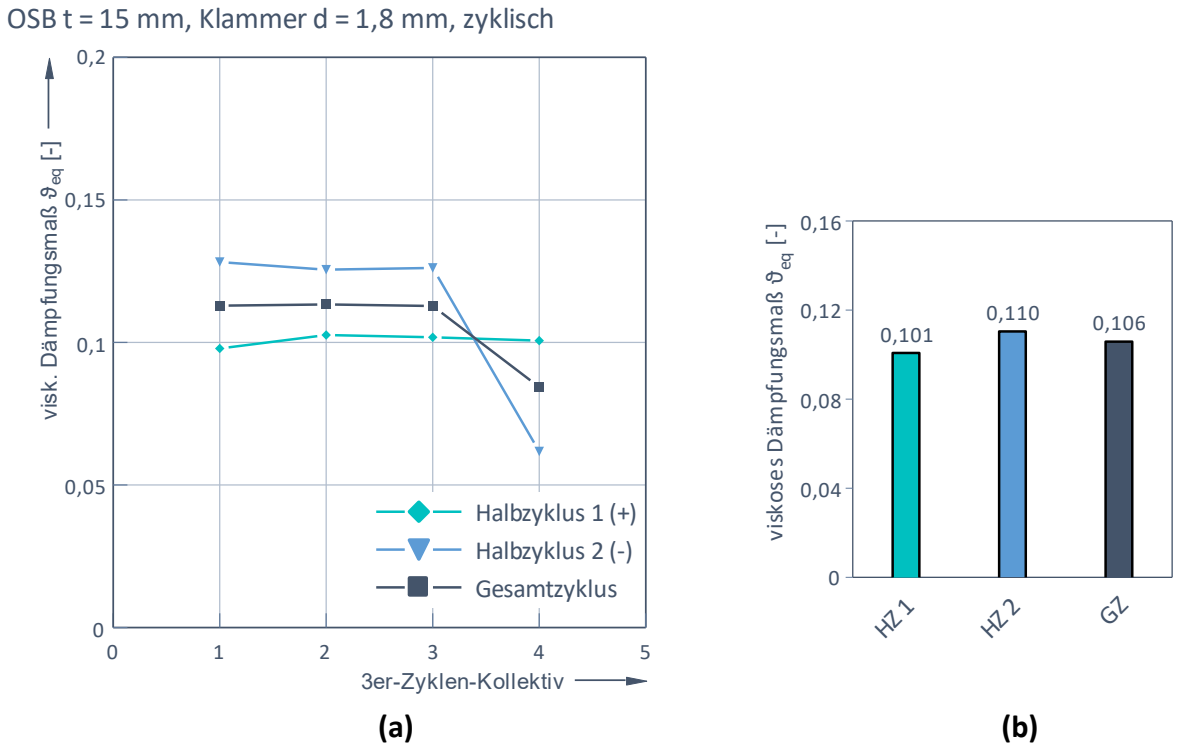


Abbildung B-177: Vergleich des viskosen Dämpfungsmaßes als Einzelwerte (a) und Mittelwerte (b) der dritten Zyklen der 3er-Zyklen-Kollektive; WT 01_c_1

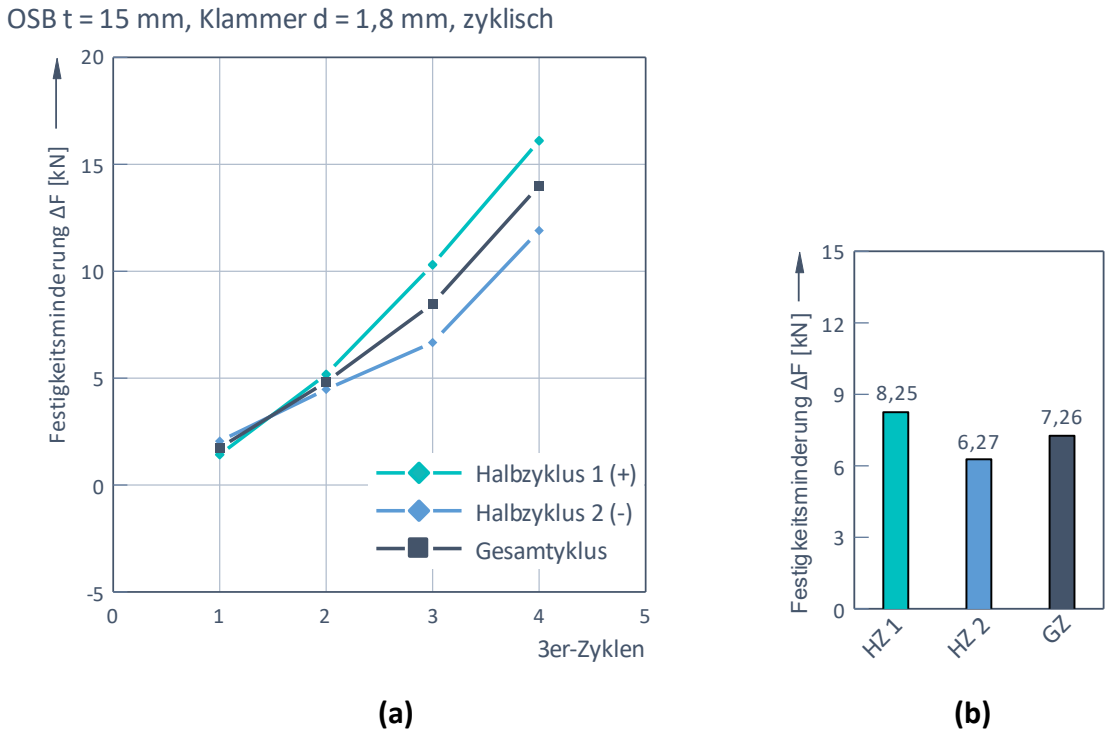


Abbildung B-178: Vergleich der Festigkeitsminderung der 3er-Zyklen-Kollektive als Einzelwerte je Zyklus (a) und als Mittelwerte je Halbzyklus (b); WT 01_c_1

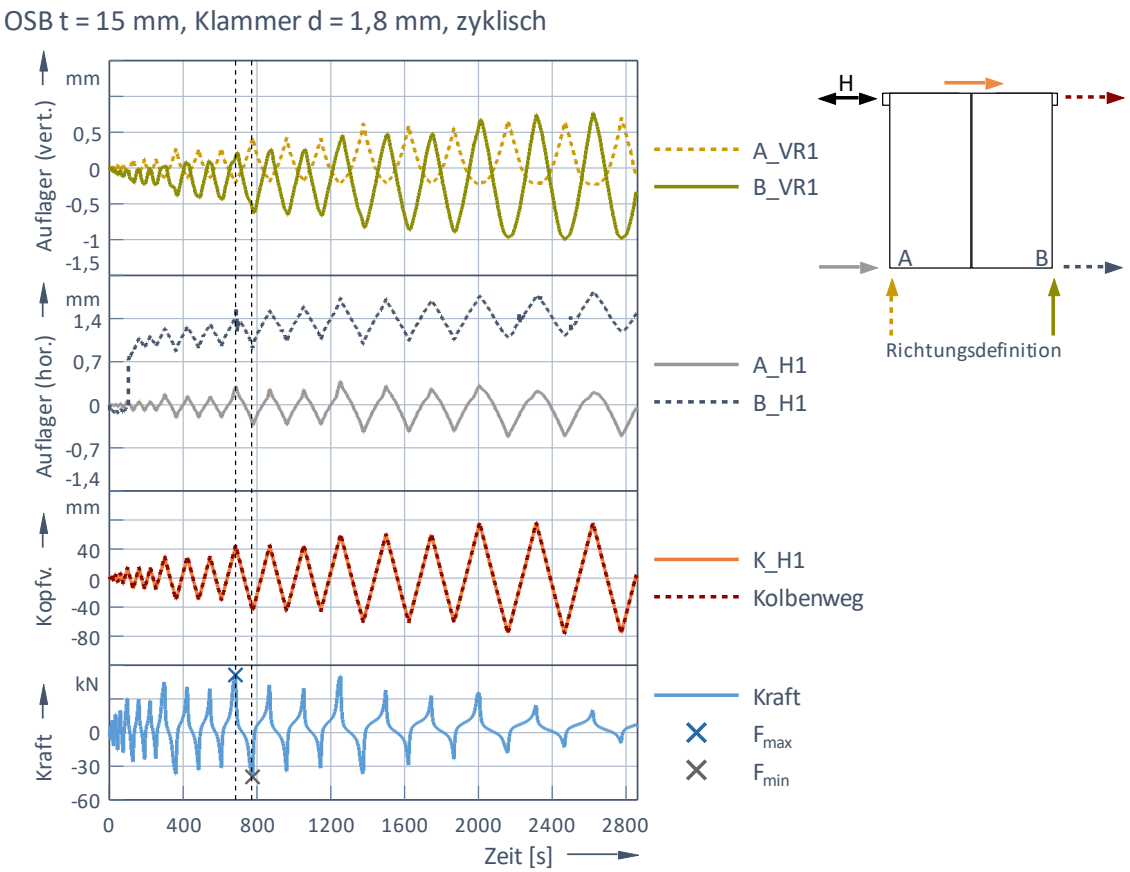


Abbildung B-179: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 01_c_1

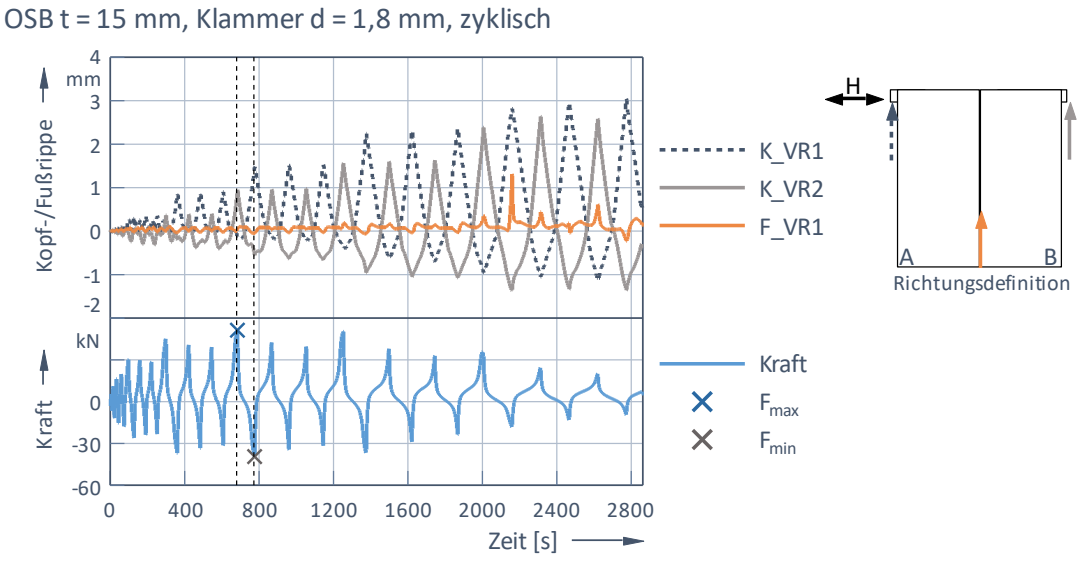


Abbildung B-180: Wegmessungen an Kopf- und Fußrippe; WT 01_c_1

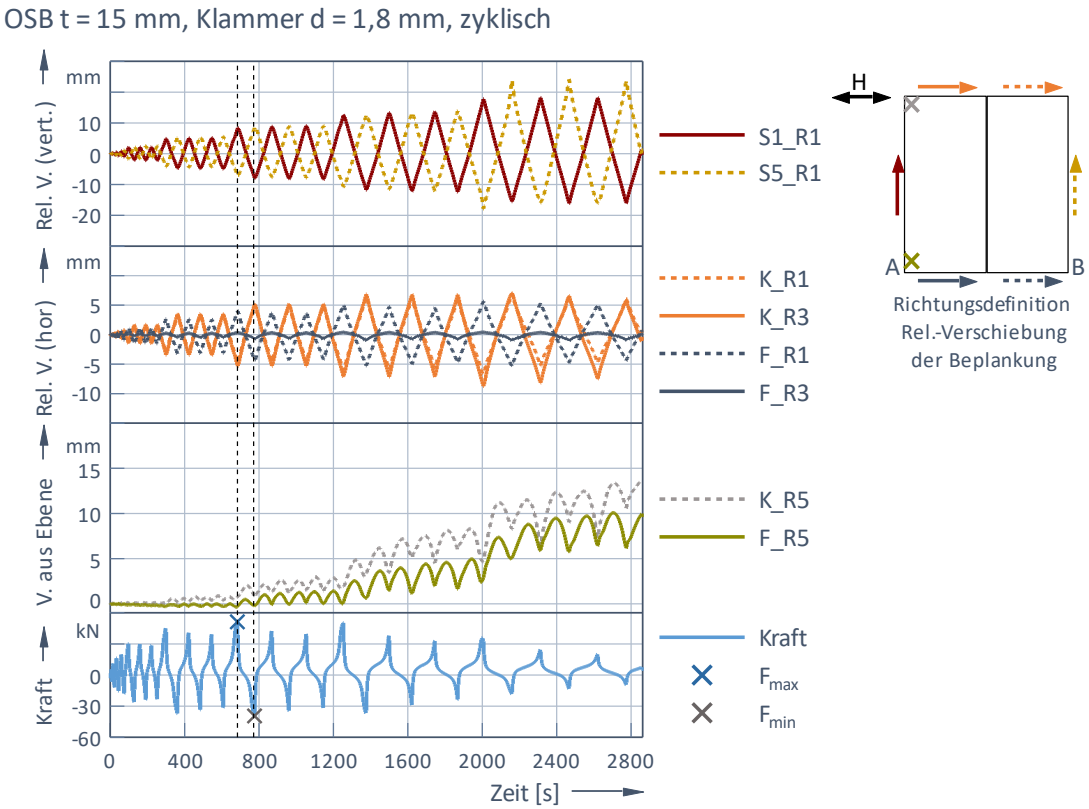


Abbildung B-181: Wegmessungen an Beplankung; WT 01_c_1

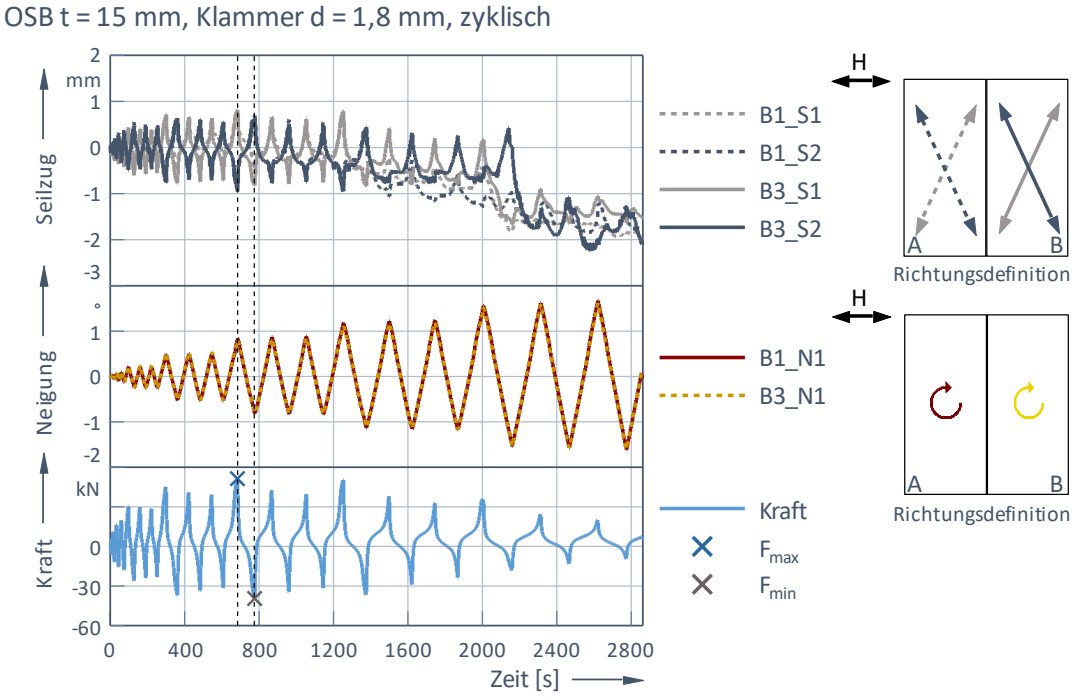


Abbildung B-182: Weg- und Neigungsmessungen an Beplankung; WT 01_c_1

B.16 Wandtafel 02_oA_c_1

Tabelle B-16: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 02_oA_c_1

Wandtafel	
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, ohne Ausklinkung
Beplankung:	OSB/3, t = 15 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm
Bekleidung 1:	Keine
Bekleidung 2:	Keine

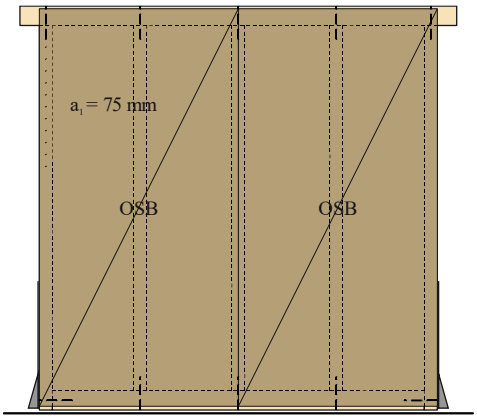


Abbildung B-183: Wandtafel 02_oA_c_1

Untersuchung		
Datum	20.07.2023	
Raumtemperatur T	25,8 °C	
Raumfeuchte R_H	45 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 479 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 484 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 398 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 454 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	12,2 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Zyklisch
Belastung	1,0 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximal-/Minimalkraft	45,7 kN / -44,0 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

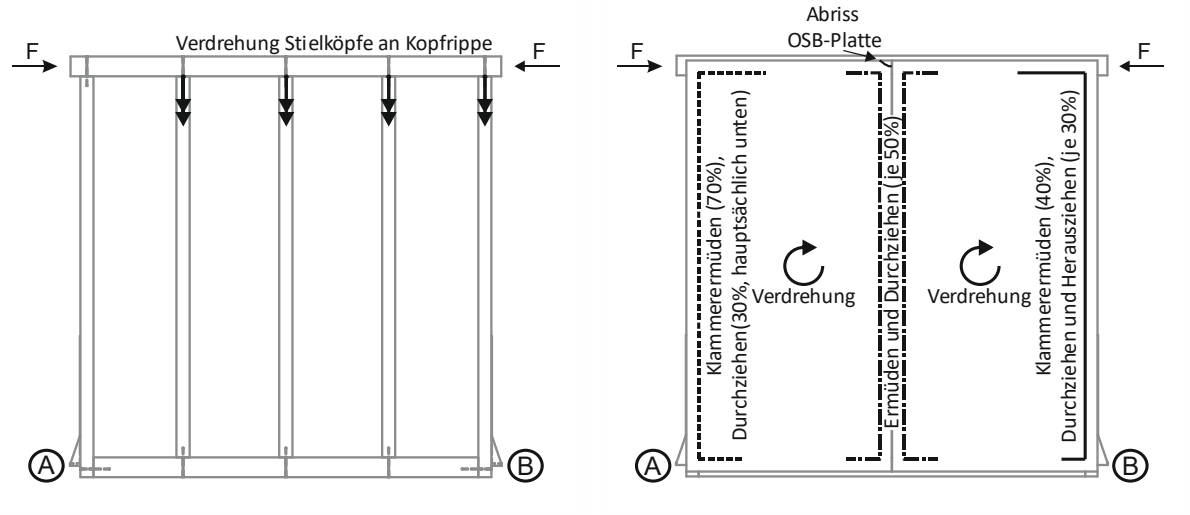
Abweichung ISO 21581:

- Grenzverschiebung l_u circa 35 Minuten nach Beginn der Prüfung erreicht

Während Versuch:

- Fugenöffnen und -verschließen in Intervallen: Fugenverschluss bei Erreichen der maximalen betragsmäßigen Kraft je Zyklus, anschließende erneute Fugenöffnung bei Kraftrichtungsumkehr

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



(a) **(b)**

Abbildung B-184: Versagensbilder Rahmen (a) und Beplankung (b); WT 02_oA_c_1



(a) **(b)** **(c)**



(d) **(e)** **(f)** **(g)**

Abbildung B-185: Versagensbild Vorderseite (a) und Rückseite (c), Seitenansicht Stiel 1 (b), Eckabriss Beplankung 1 (d), Klammerermüden und -durchziehen an Stiel 1, 3, 5 (e-g); WT 02_oA_c_1

Untersuchungsergebnisse

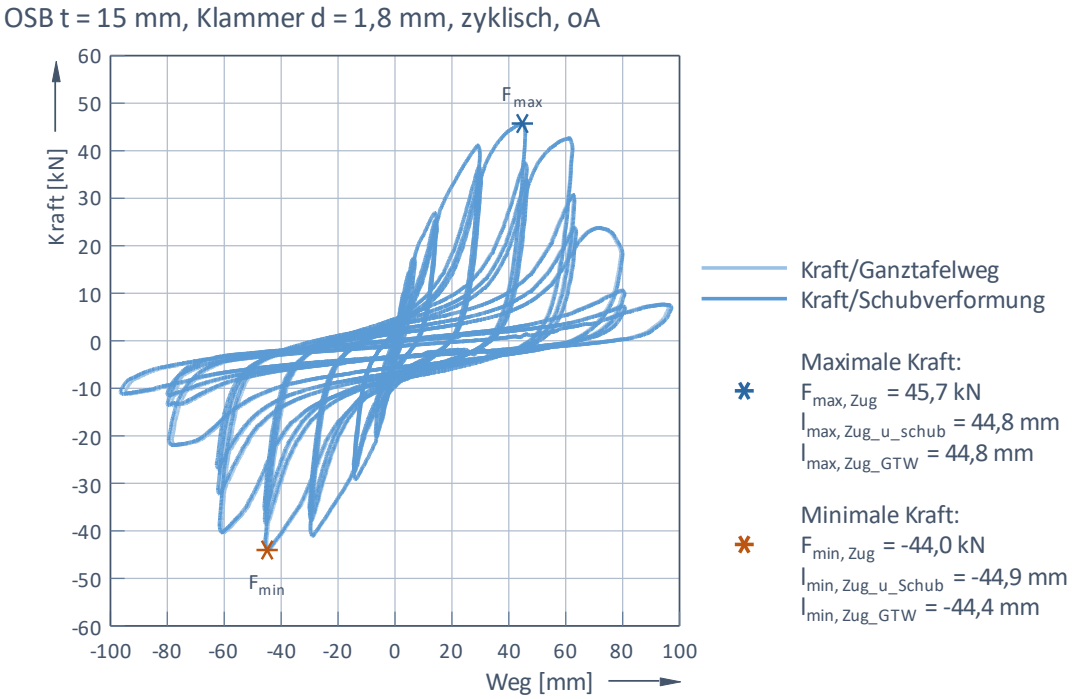


Abbildung B-186: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg und Schubverformung; WT 02_oA_c_1

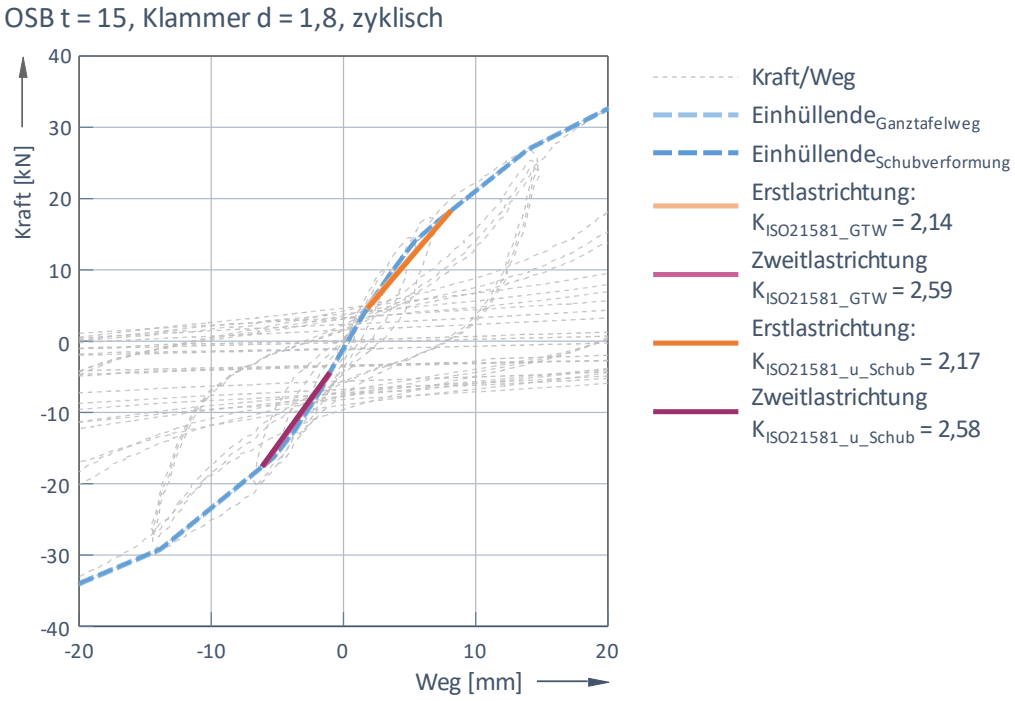


Abbildung B-187: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 02_oA_c_1

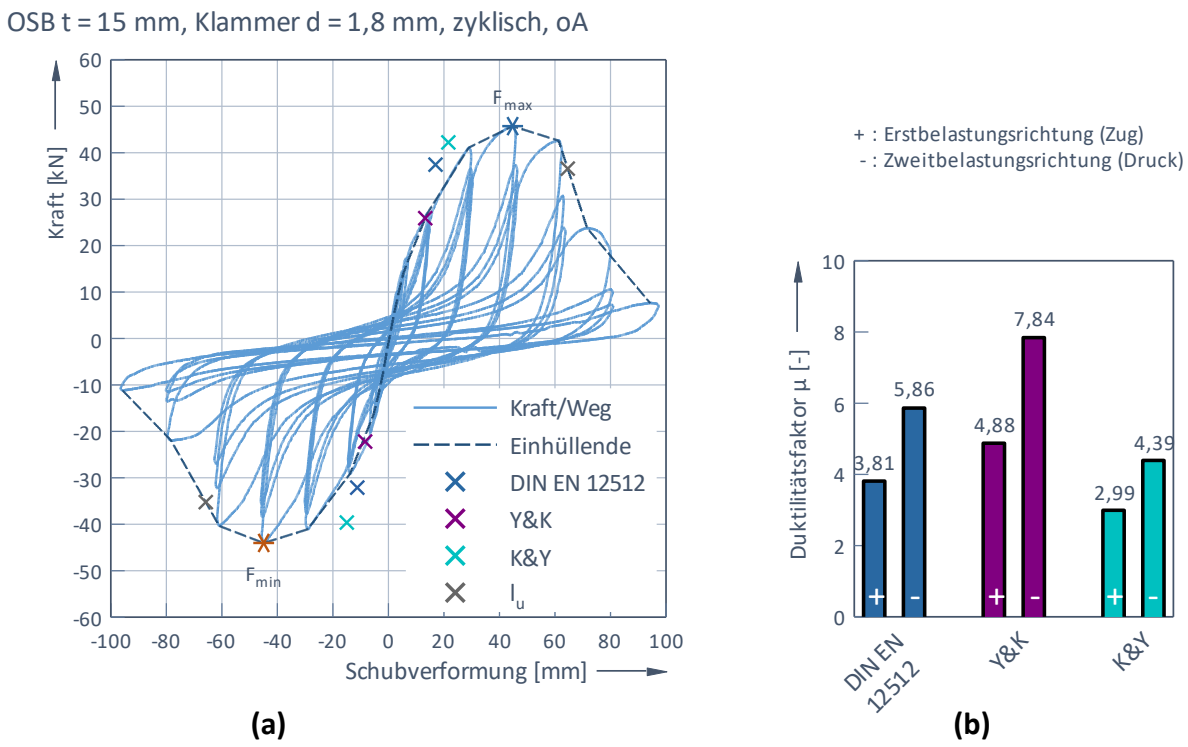


Abbildung B-188: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 02_oA_c_1

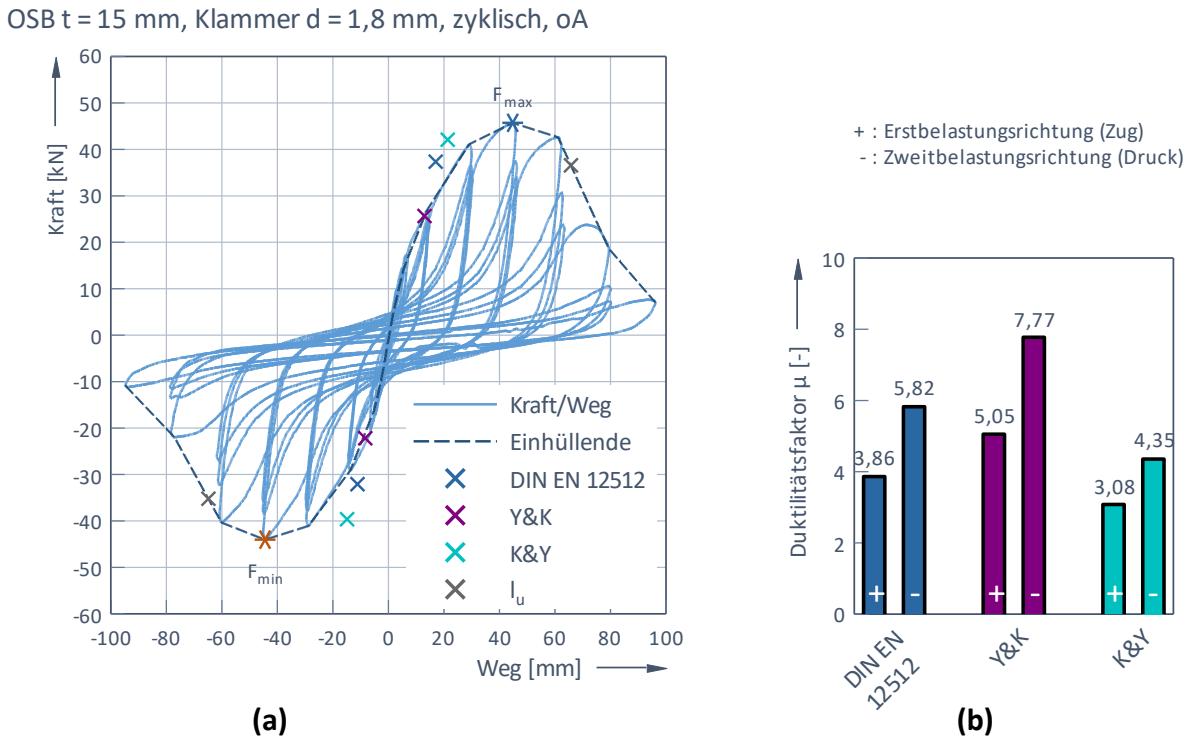


Abbildung B-189: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 02_oA_c_1

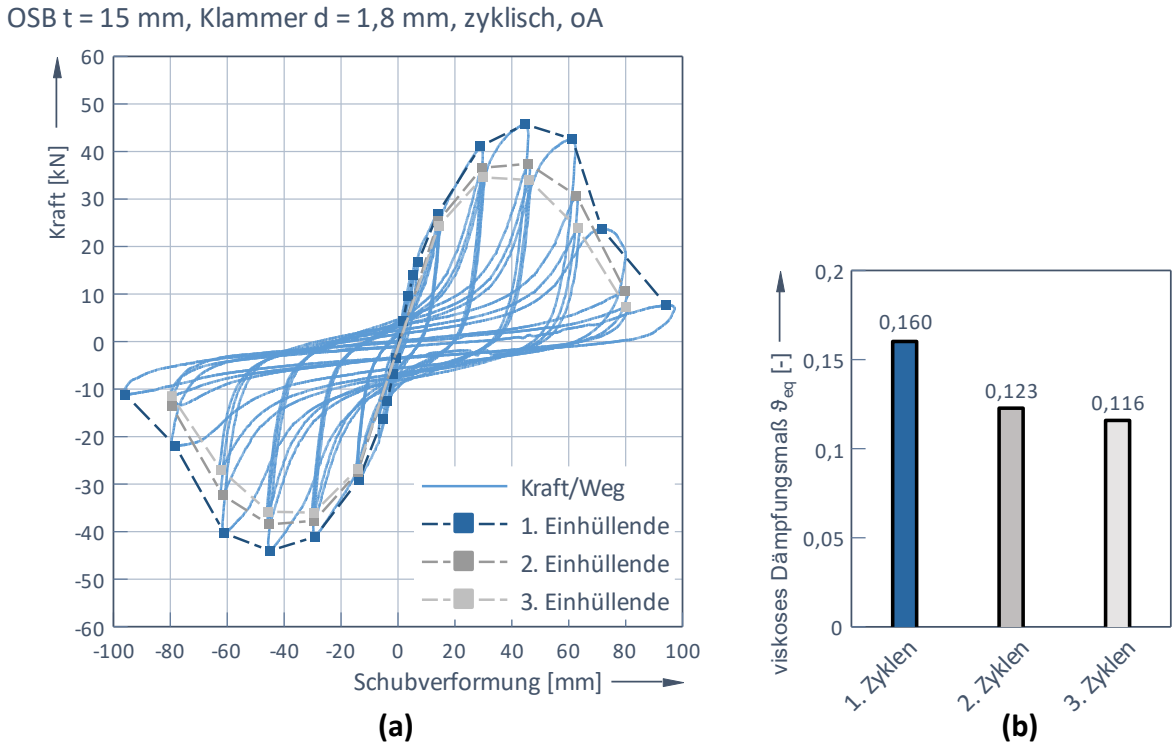


Abbildung B-190: Einhüllende (a) und Vergleich des mittleren viskosen Dämpfungsmaßes in den ersten bis dritten Gesamtzyklen der 3er-Zyklen-Kollektive (b); WT 02_oA_c_1

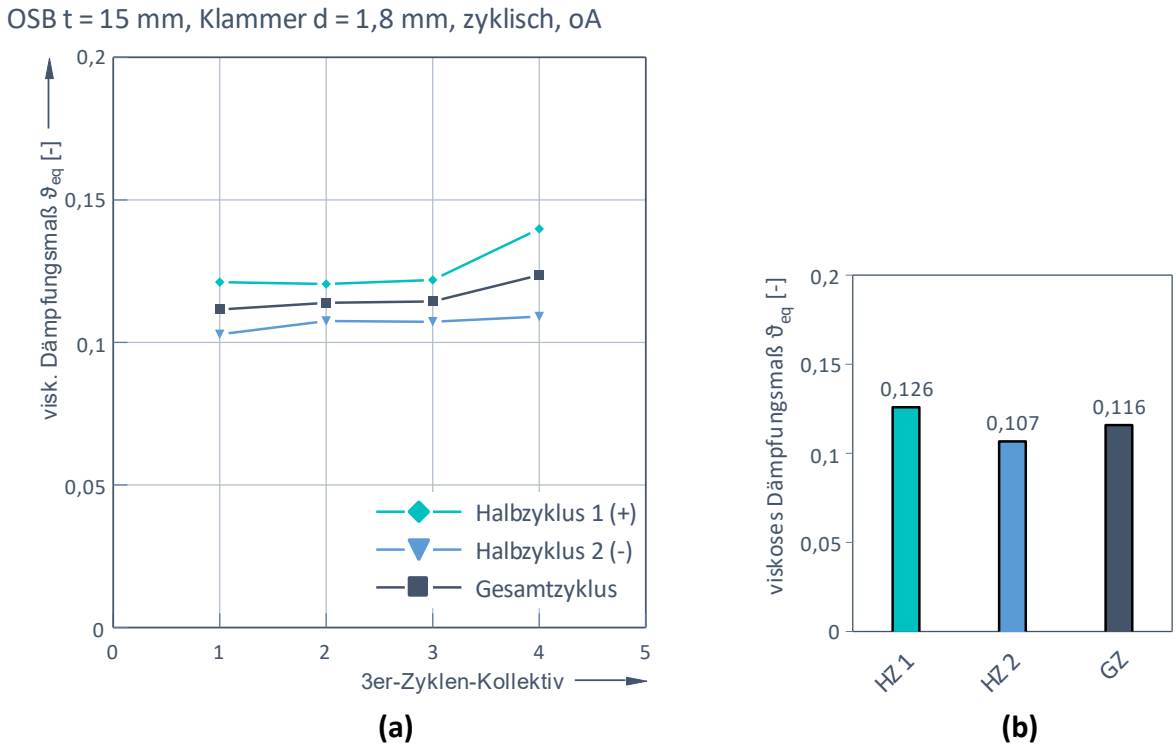
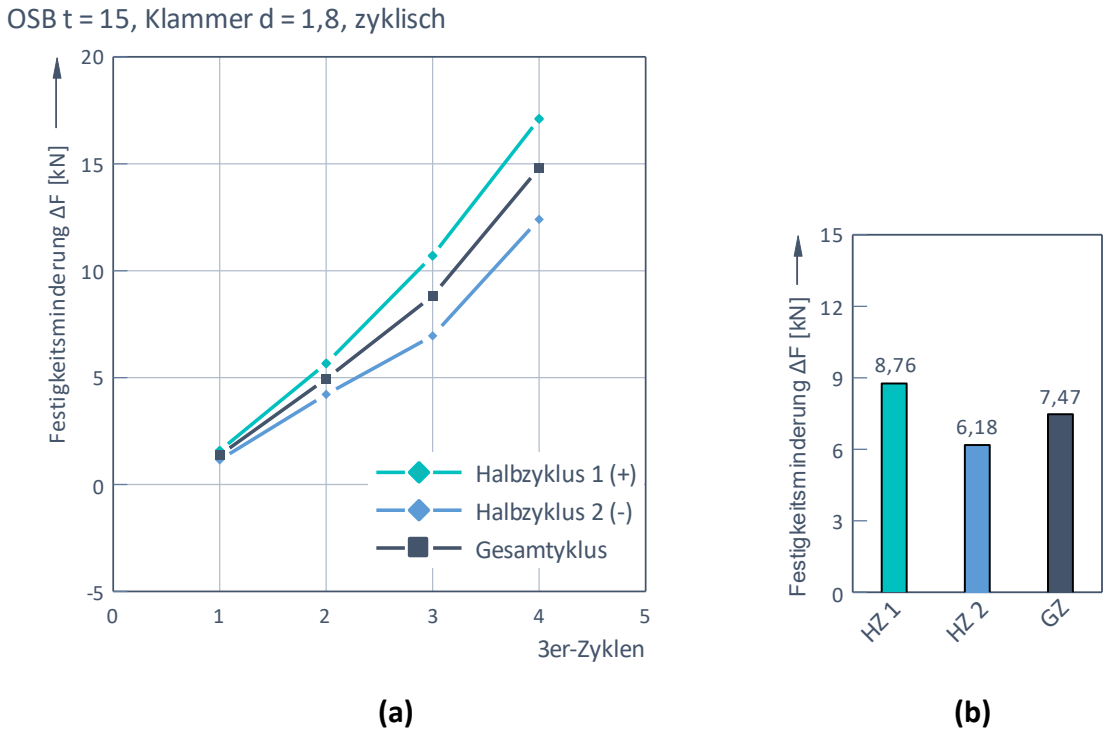


Abbildung B-191: Vergleich des viskosen Dämpfungsmaßes als Einzelwerte (a) und Mittelwerte (b) der dritten Zyklen der 3er-Zyklen-Kollektive; WT 02_oA_c_1



(a) **(b)**

Abbildung B-192: Vergleich der Festigkeitsminderung der 3er-Zyklen-Kollektive als Einzelwerte je Zyklus (a) und als Mittelwerte je Halbzyklus (b); WT 02_oA_c_1

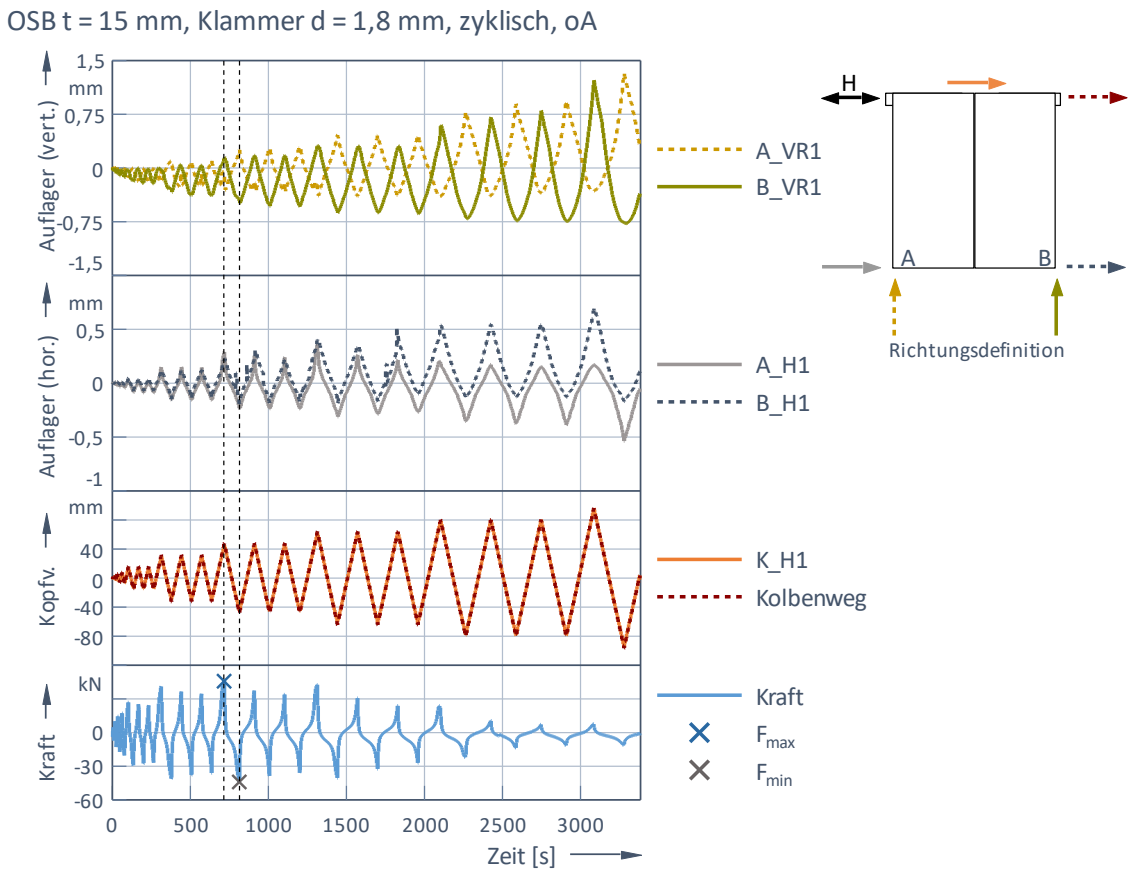


Abbildung B-193: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 02_oA_c_1

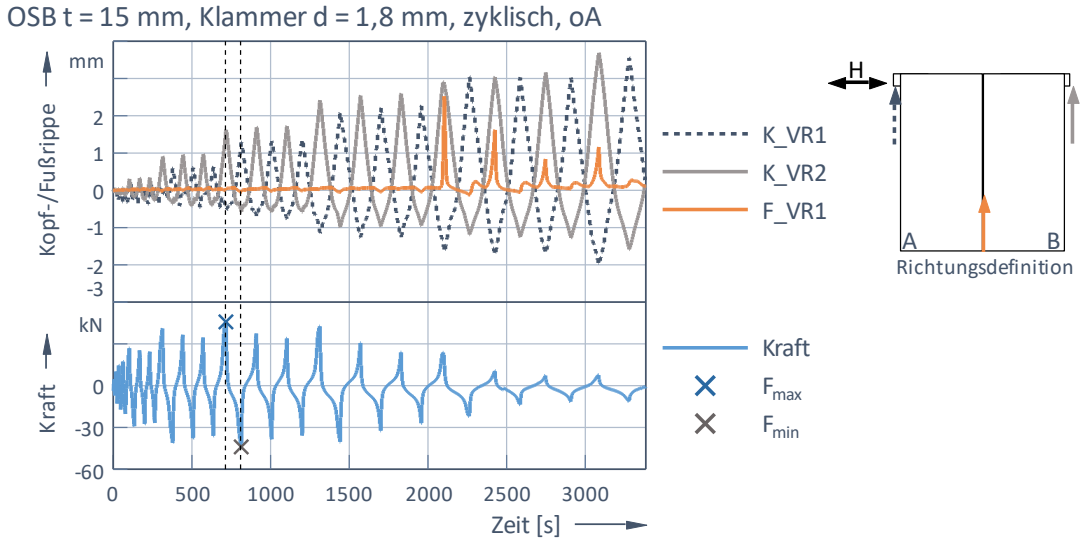


Abbildung B-194: Wegmessungen an Kopf- und Fußrippe; WT 02_oA_c_1

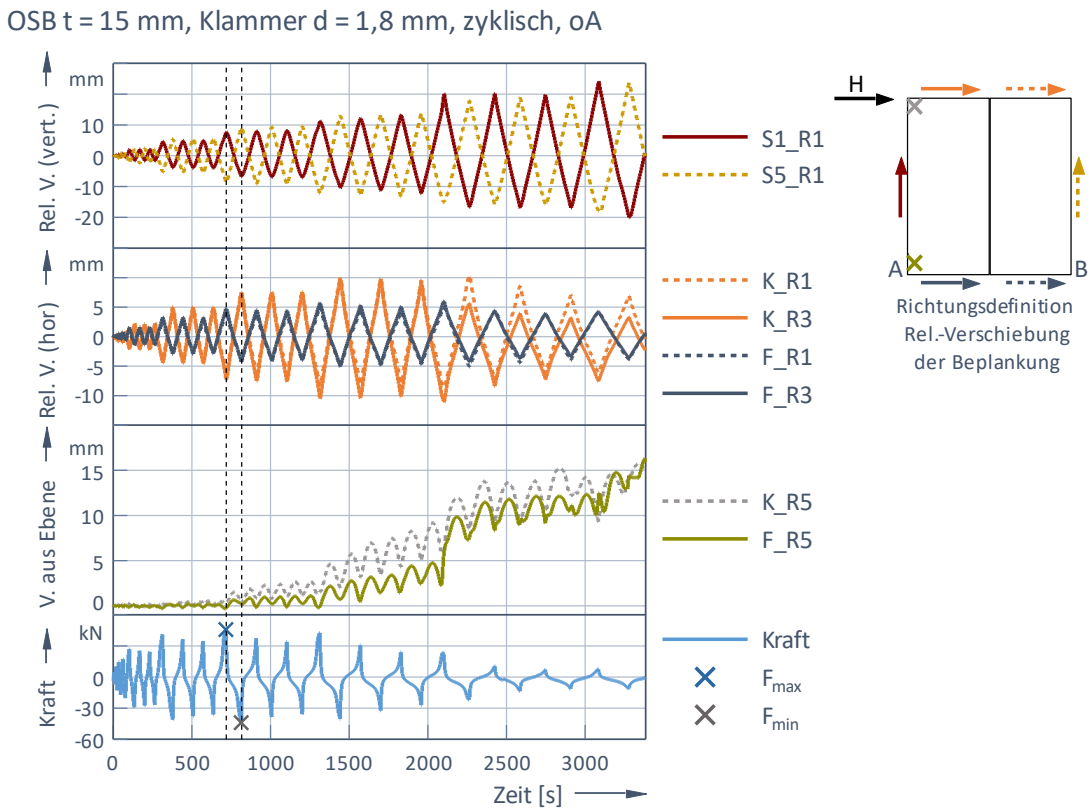


Abbildung B-195: Wegmessungen an Beplankung; WT 02_oA_c_1

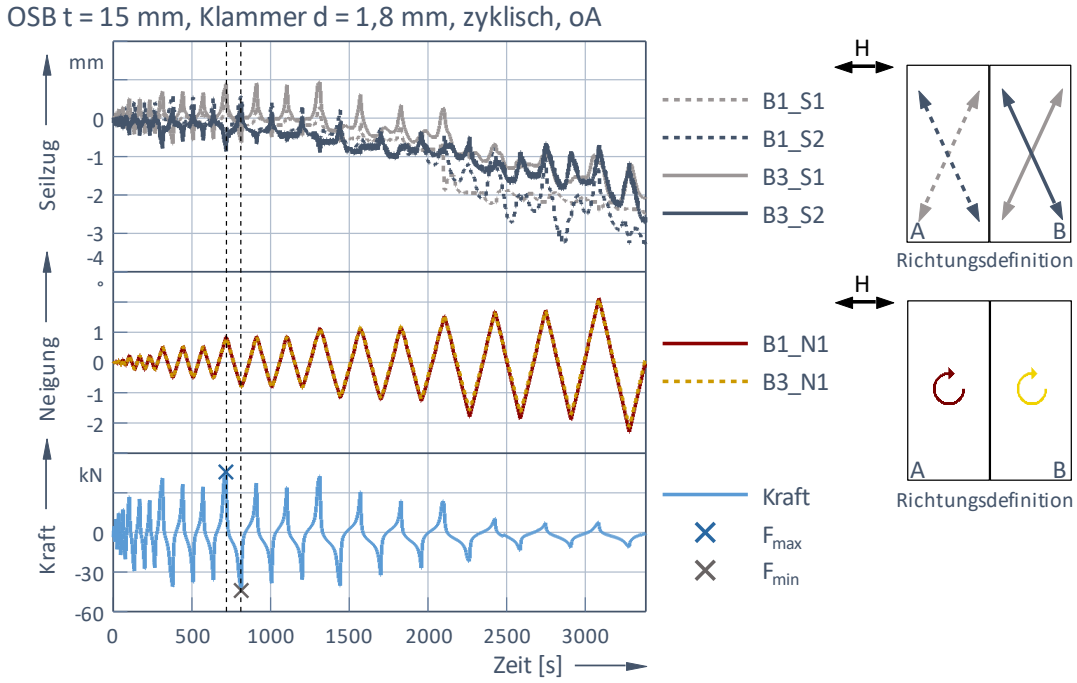


Abbildung B-196: Weg- und Neigungsmessungen an Beplankung; WT 02_oA_c_1

B.17 Wandtafel 03_c_1

Tabelle B-17: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 03_c_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	GFB, t = 12,5 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	Keine	
Bekleidung 2:	Keine	

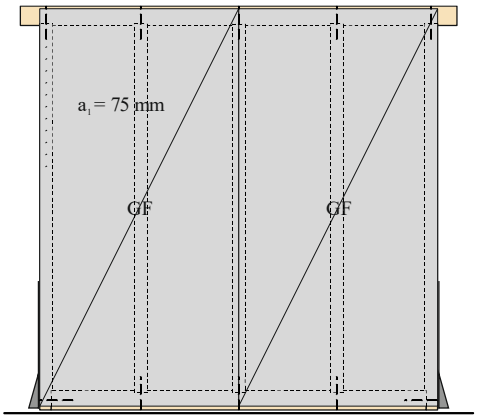


Abbildung B-197: Wandtafel 03_c_1

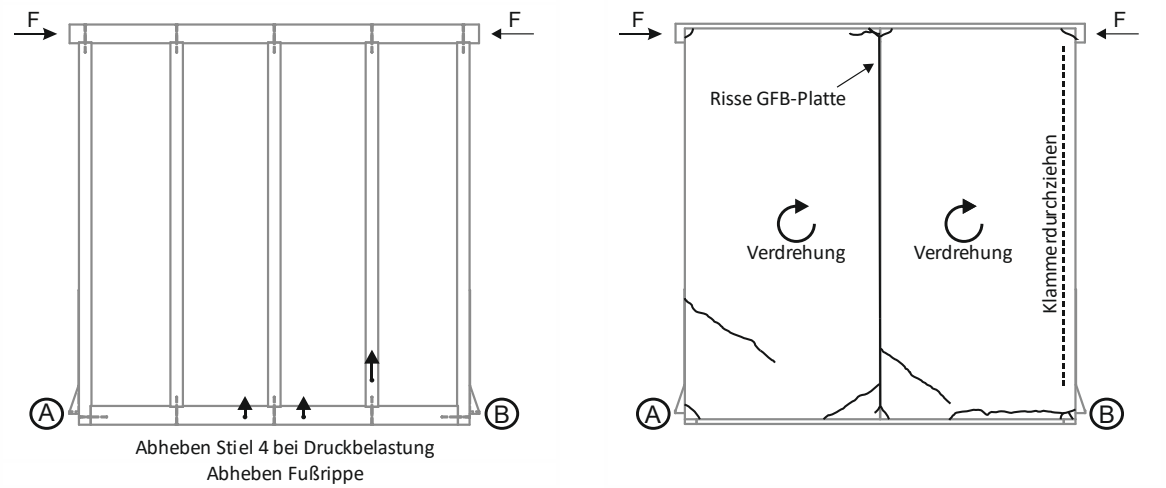
Untersuchung		
Datum	05.07.2023	
Raumtemperatur T	25,8 °C	
Raumfeuchte R_H	40 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 408 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 419 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 491 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 439 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	13,5 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Zyklisch
Belastung	1,0 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximal-/Minimalkraft	59,5 kN / -44,4 kN	(GFB-Versagen Beplankung maßgebend)

Anmerkungen

Während Versuch:

- Entwicklung kleiner Risse in Ecken der Beplankung ohne signifikanten Lastabfall
- Signifikanter Lastabfall bei schlagartiger Entwicklung des großen Horizontalrisses an Auflager B in Druckzyklus

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



(a) **(b)**

Abbildung B-198: Versagensbilder Rahmen (a) und Beplankung (b); WT 03_c_1



(a) **(b)** **(c)**



(d) **(e)** **(f)** **(g)**

Abbildung B-199: Versagensbild Vorderseite (a) und Rückseite (c), Seitenansicht Stiel 1 (b), Rissbildung unten Beplankung 3 (d), Fugenöffnung Auflager B (e), Klammerdurchziehen Stiel 5 (f), Relativverschiebung zwischen Beplankung 1 und 3 (g); WT 03_c_1

Untersuchungsergebnisse

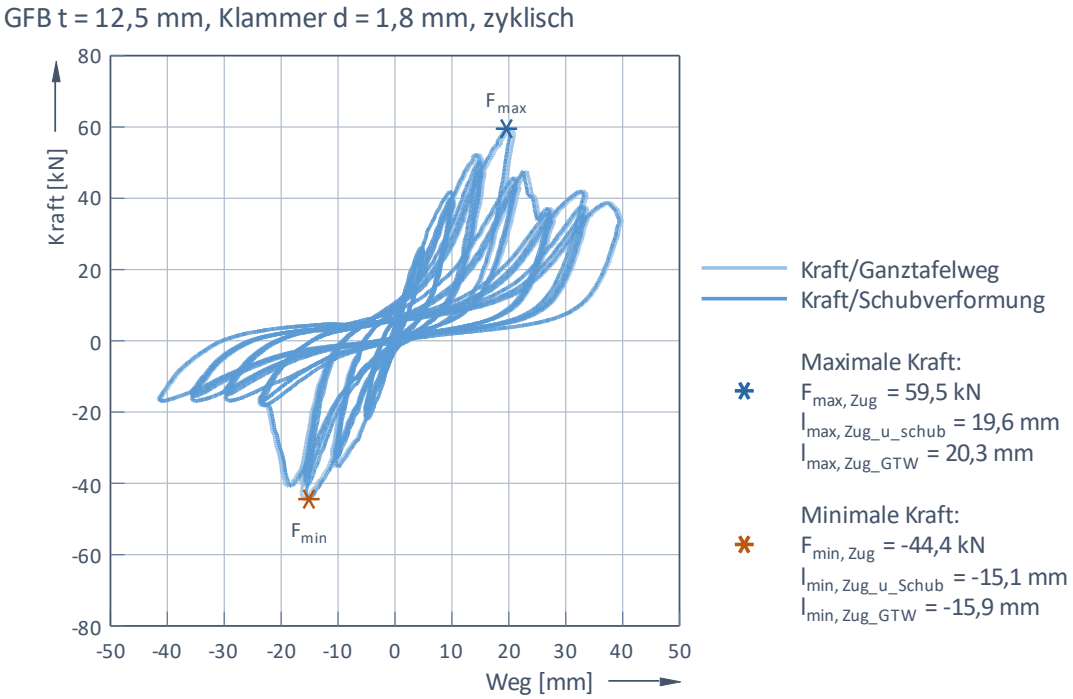


Abbildung B-200: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg und Schubverformung; WT 03_c_1

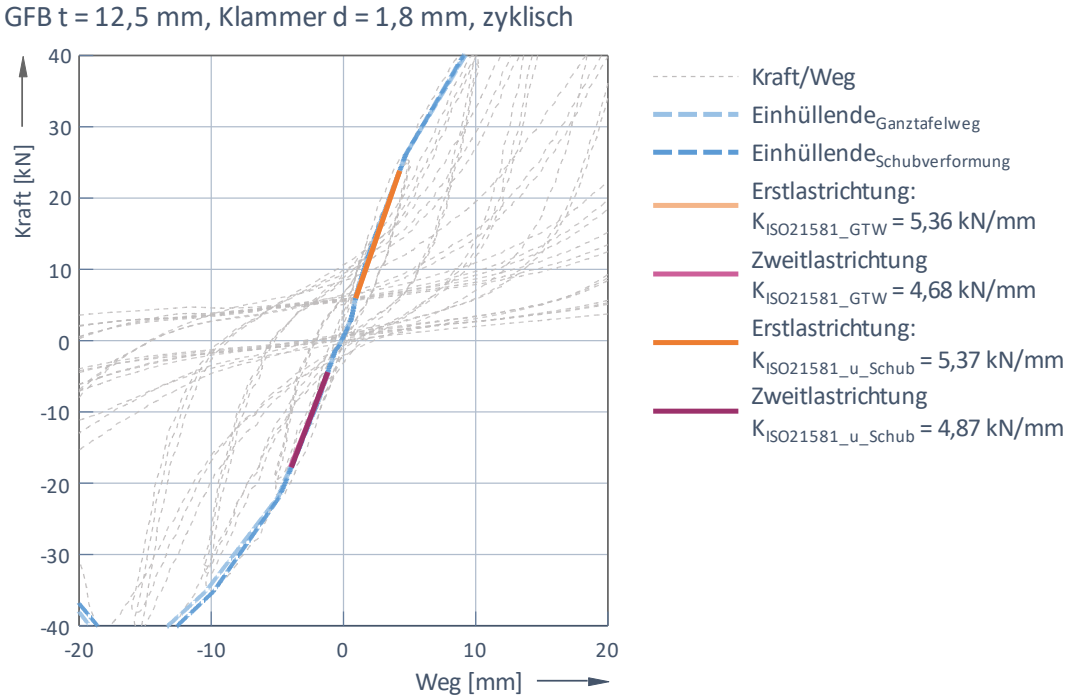


Abbildung B-201: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 03_c_1

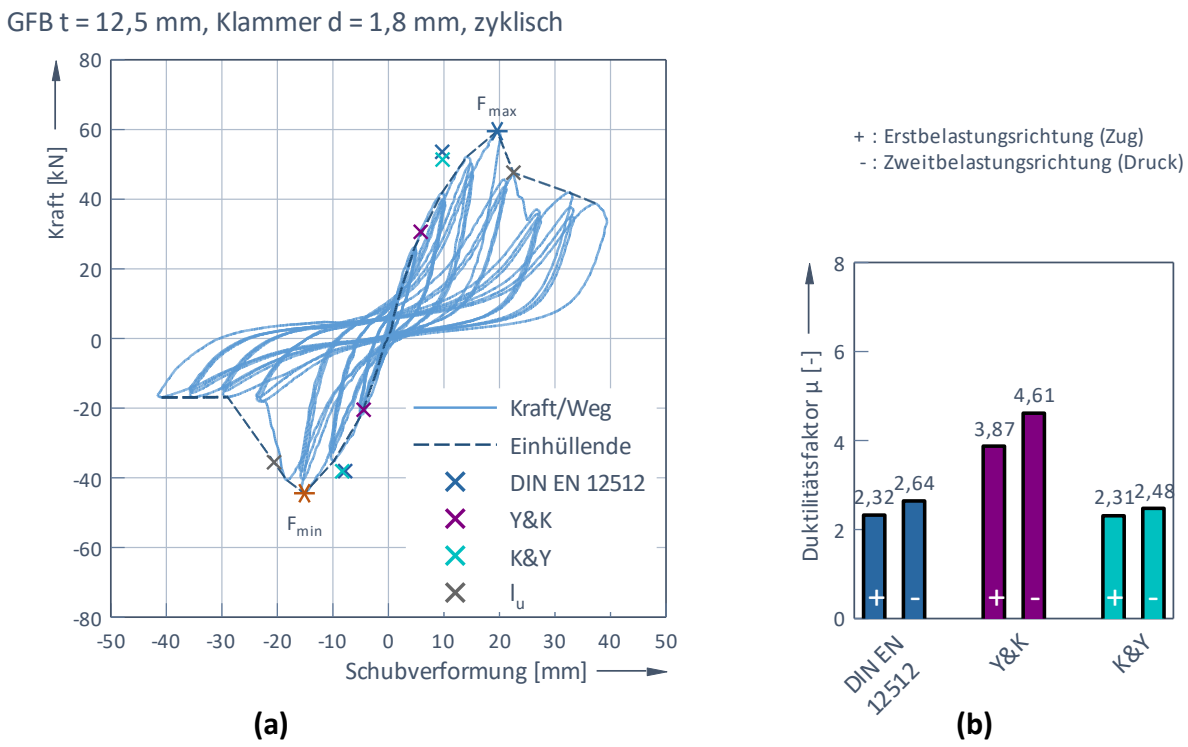


Abbildung B-202: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 03_c_1

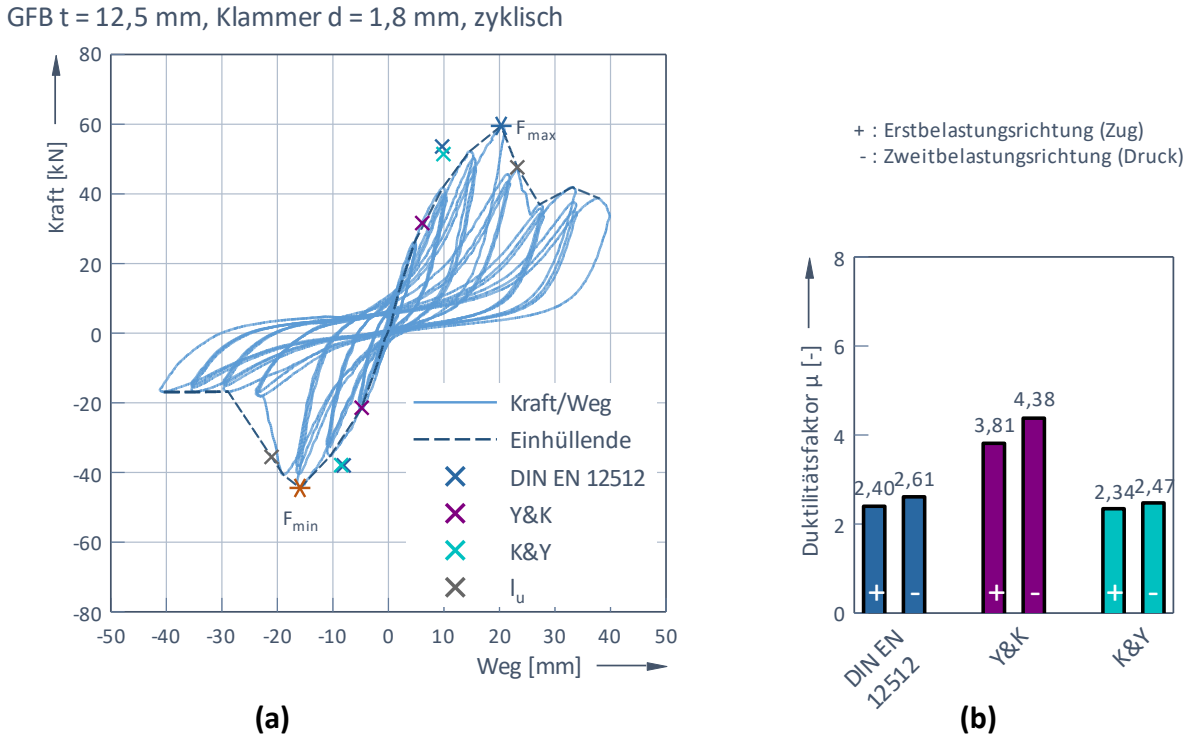


Abbildung B-203: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 03_c_1

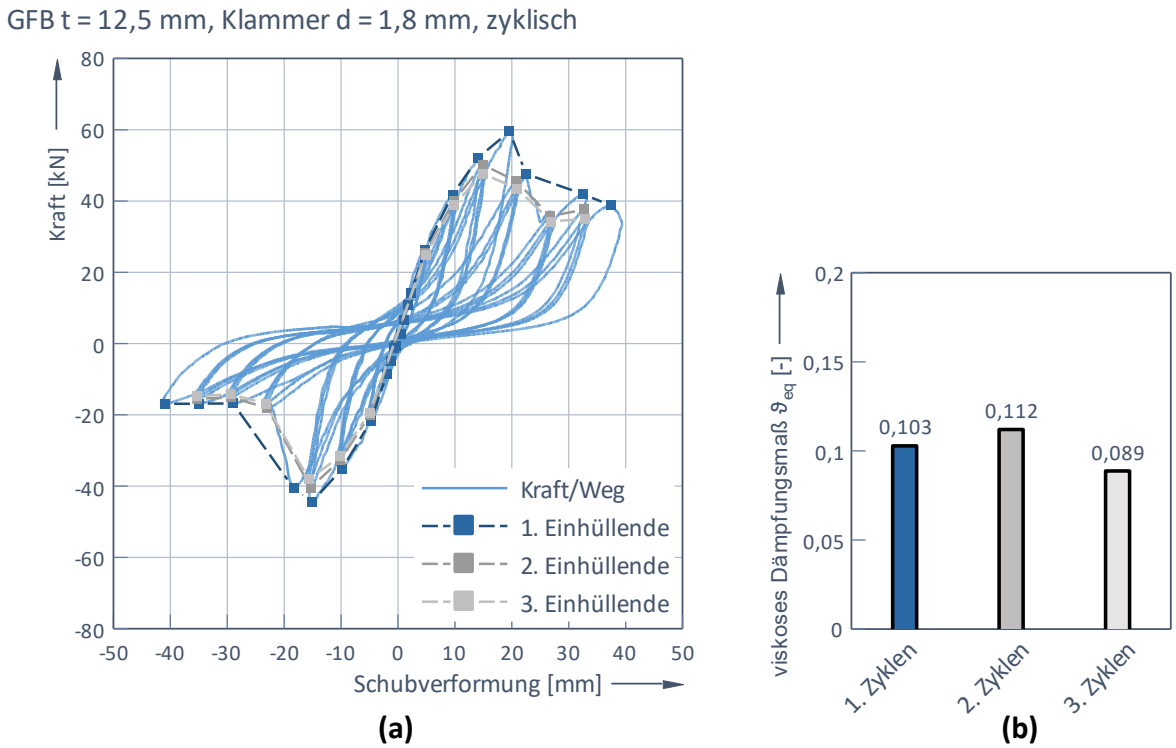


Abbildung B-204: Einhüllende (a) und Vergleich des mittleren viskosen Dämpfungsmaßes in den ersten bis dritten Gesamtzyklen der 3er-Zyklen-Kollektive (b); WT 03_c_1

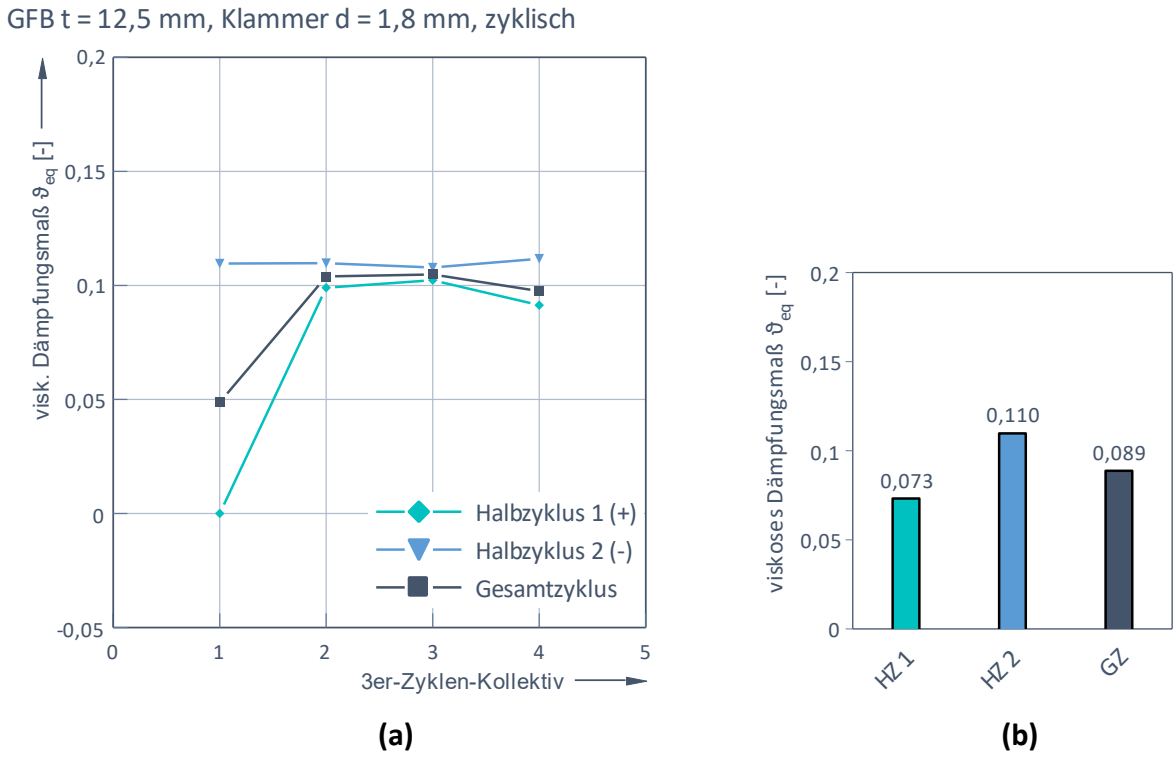
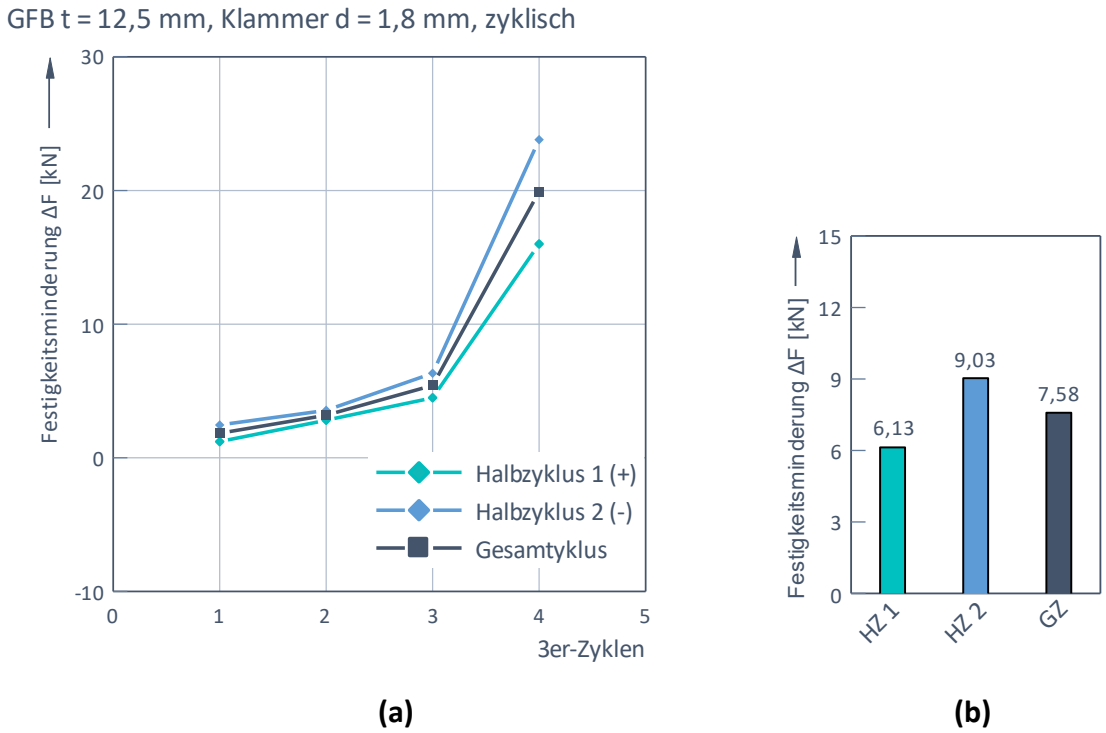


Abbildung B-205: Vergleich des viskosen Dämpfungsmaßes als Einzelwerte (a) und Mittelwerte (b) der dritten Zyklen der 3er-Zyklen-Kollektive; WT 03_c_1



(a) **(b)**

Abbildung B-206: Vergleich der Festigkeitsminderung der 3er-Zyklen-Kollektive als Einzelwerte je Zyklus (a) und als Mittelwerte je Halbzyklus (b); WT 03_c_1

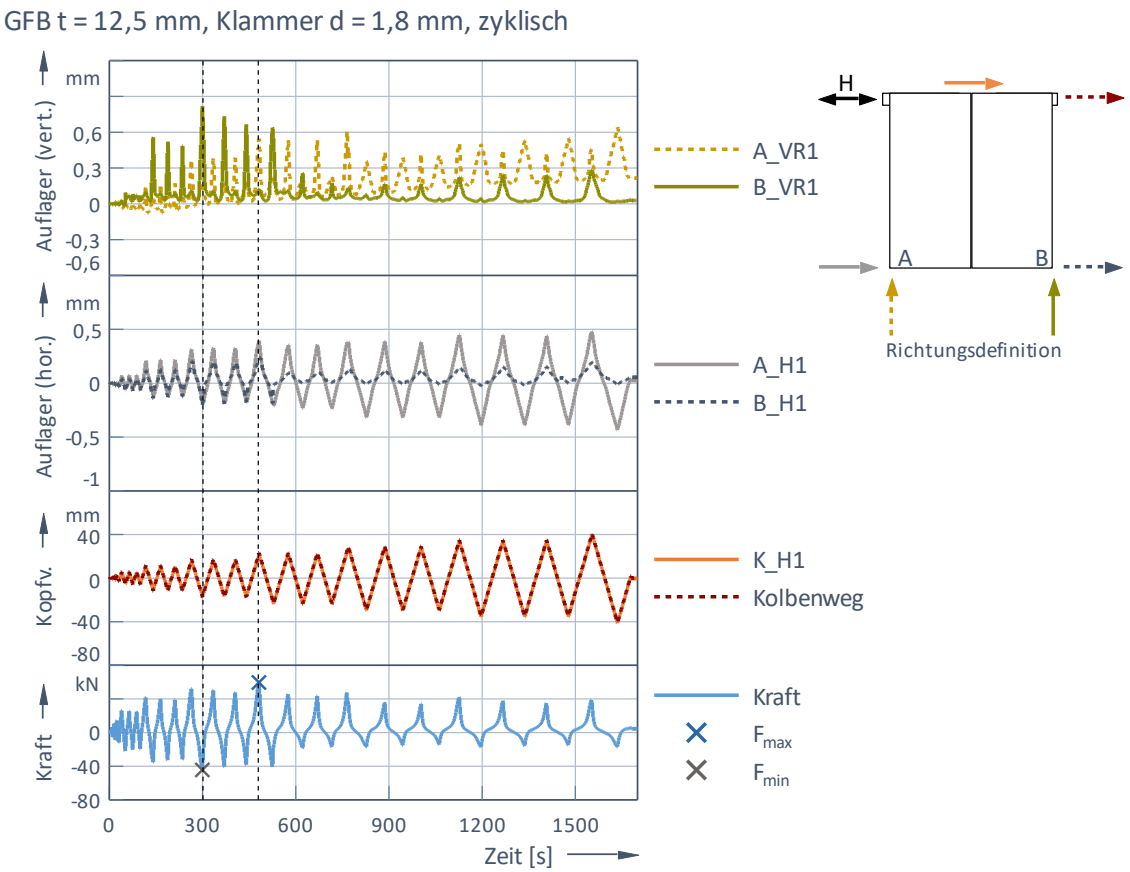


Abbildung B-207: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 03_c_1

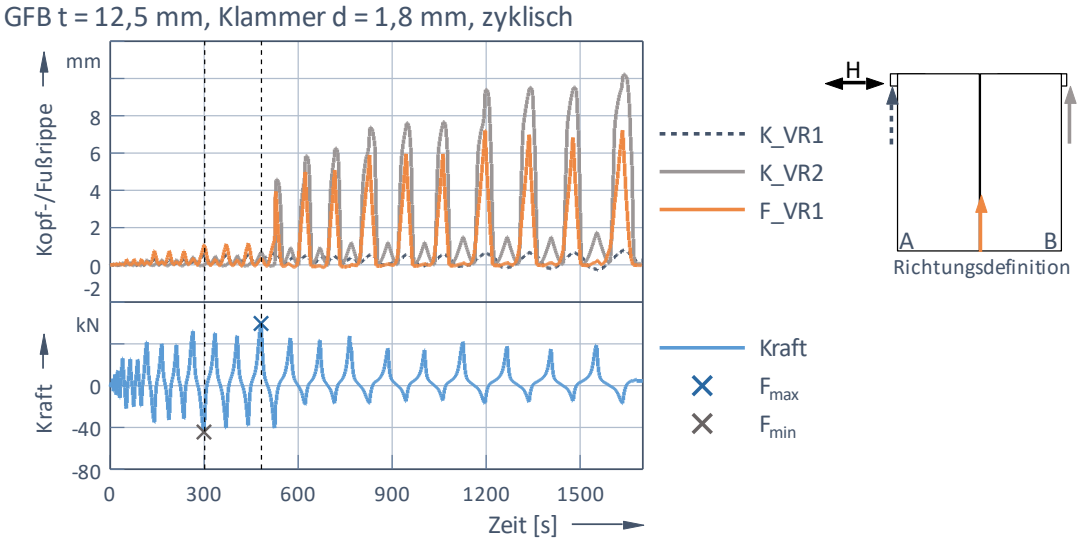


Abbildung B-208: Wegmessungen an Kopf- und Fußrippe; WT 03_c_1

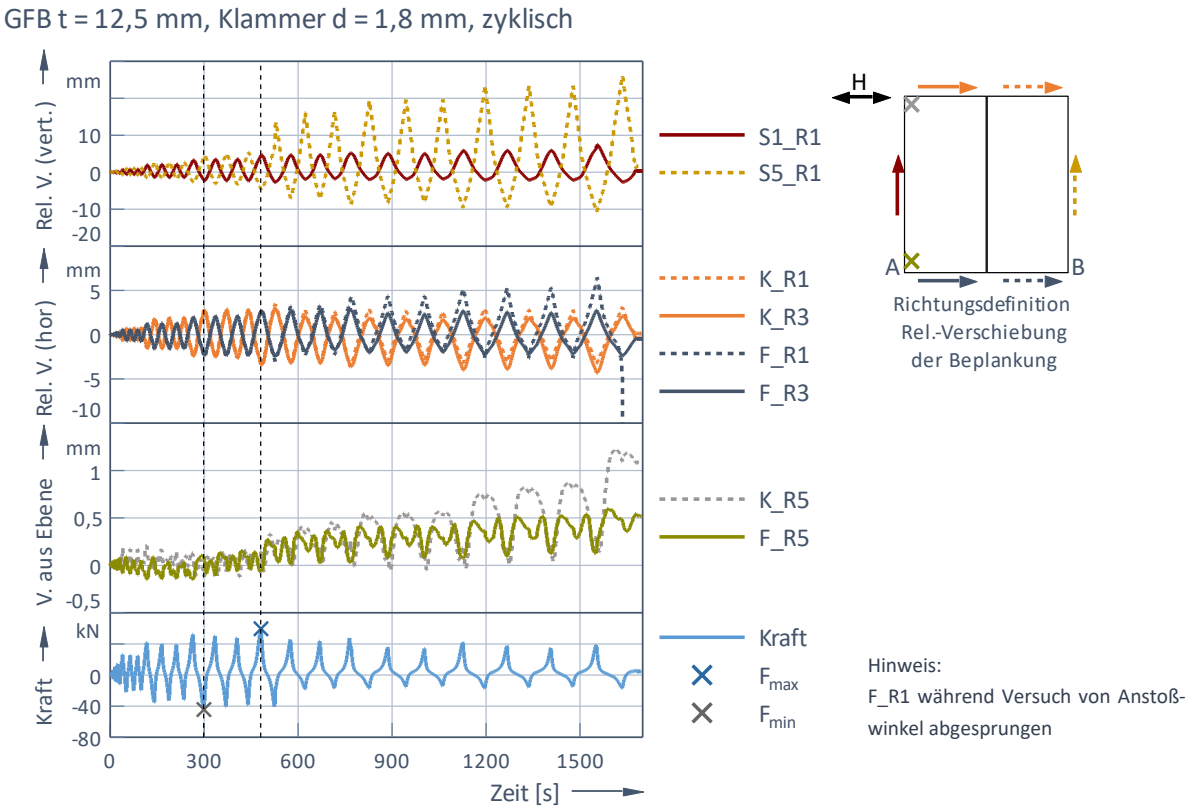


Abbildung B-209: Wegmessungen an Beplankung; WT 03_c_1

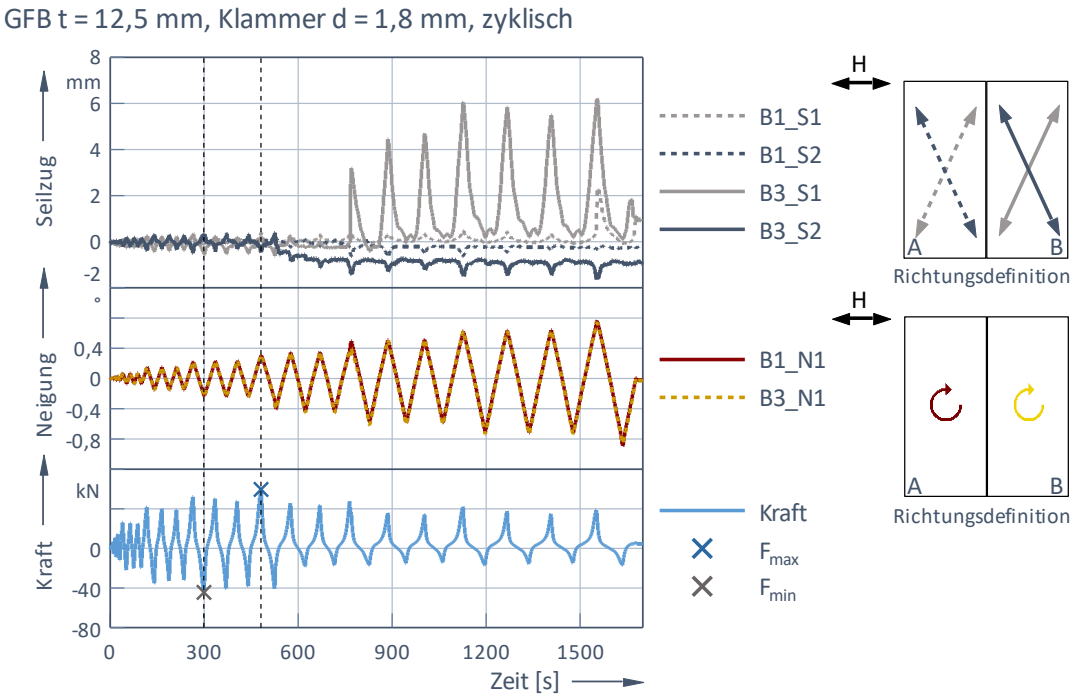


Abbildung B-210: Weg- und Neigungsmessungen an Beplankung; WT 03_c_1

B.18 Wandtafel 04_c_1

Tabelle B-18: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 04_c_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	Keine	
Bekleidung 2:	Keine	

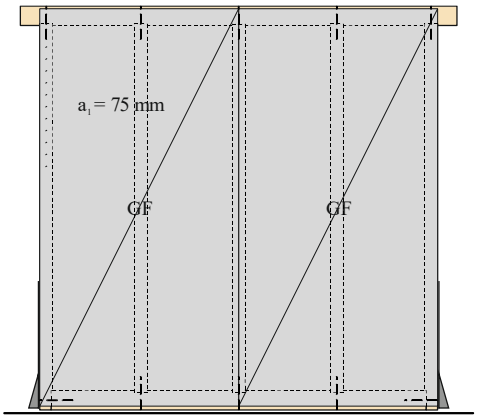
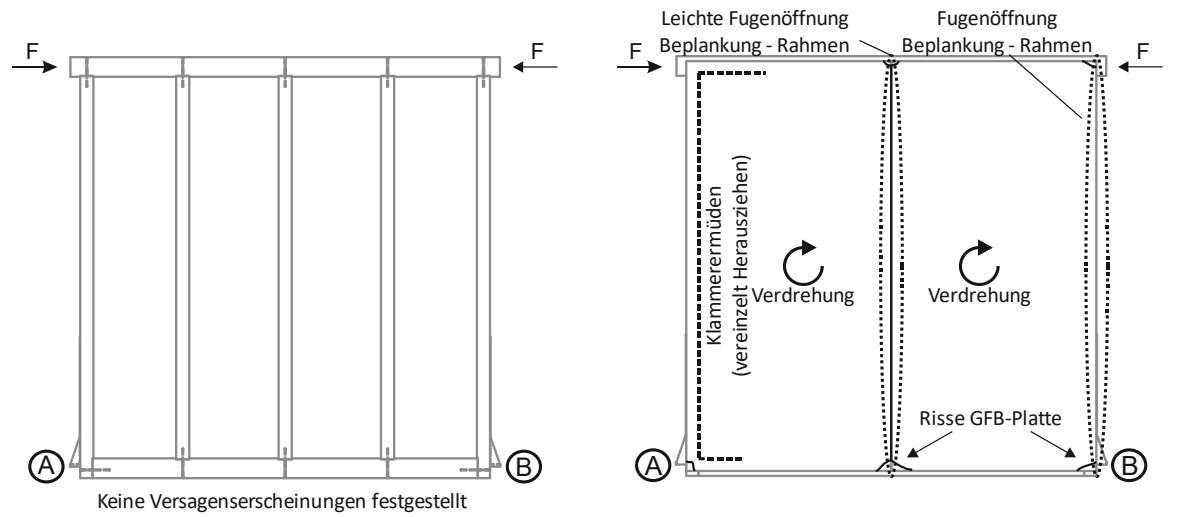


Abbildung B-211: Wandtafel 04_c_1

Untersuchung		
Datum	04.07.2023	
Raumtemperatur T	28,3 °C	
Raumfeuchte R_H	38 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 458 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 485 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 422 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 455 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	13,6 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Zyklisch
Belastung	1,0 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximal-/Minimalkraft	65,4 kN / -51,0 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen
Keine

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)

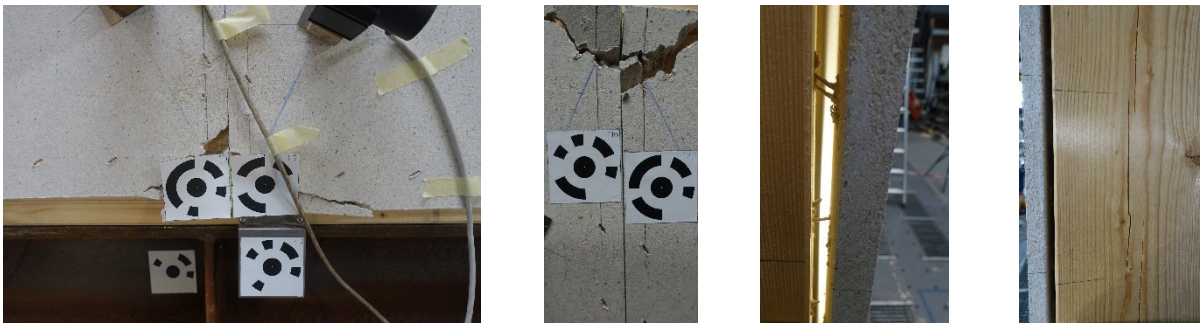


(a) **(b)**

Abbildung B-212: Versagensbilder Rahmen (a) und Beplankung (b); WT 04_c_1



(a) **(b)** **(c)**



(d) **(e)** **(f)** **(g)**

Abbildung B-213: Versagensbild Vorderseite (a) und Rückseite (c), Seitenansicht Stiel 1 (b), Rissbildung unten Beplankung 1 und 3 (d), Relativverschiebung zwischen Beplankung 1 und 3 (e), Klammerermüden und -herausziehen Stiel 1 (f), Fugenöffnung Auflager B (g); WT 04_c_1

Untersuchungsergebnisse

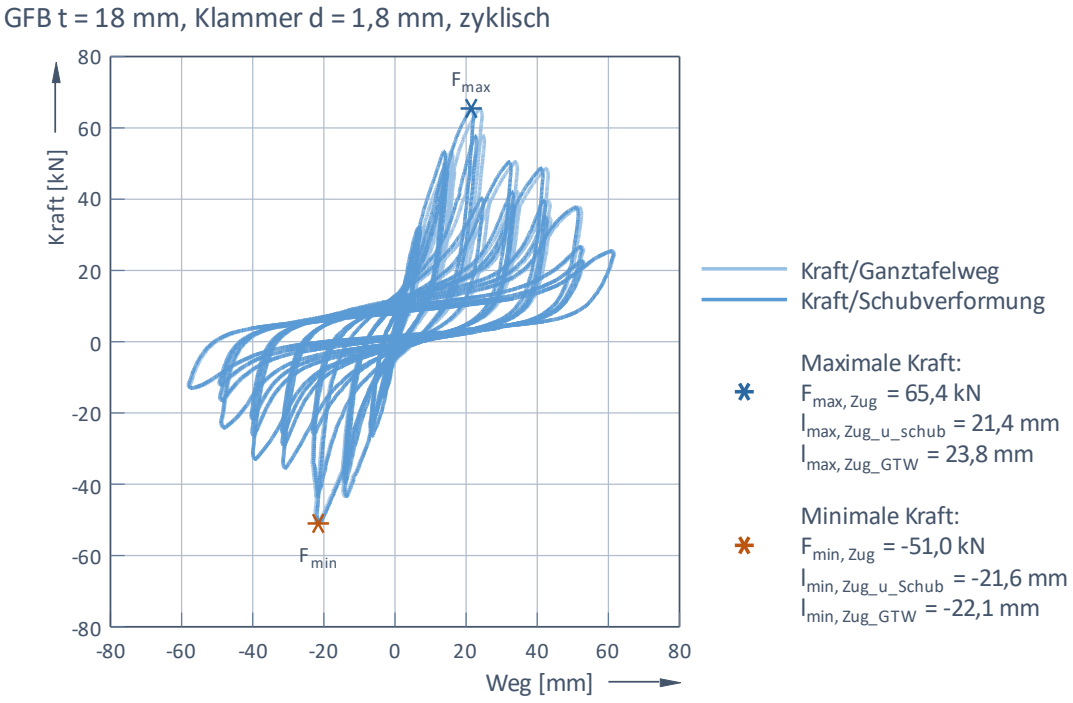


Abbildung B-214: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg und Schubverformung; WT 04_c_1

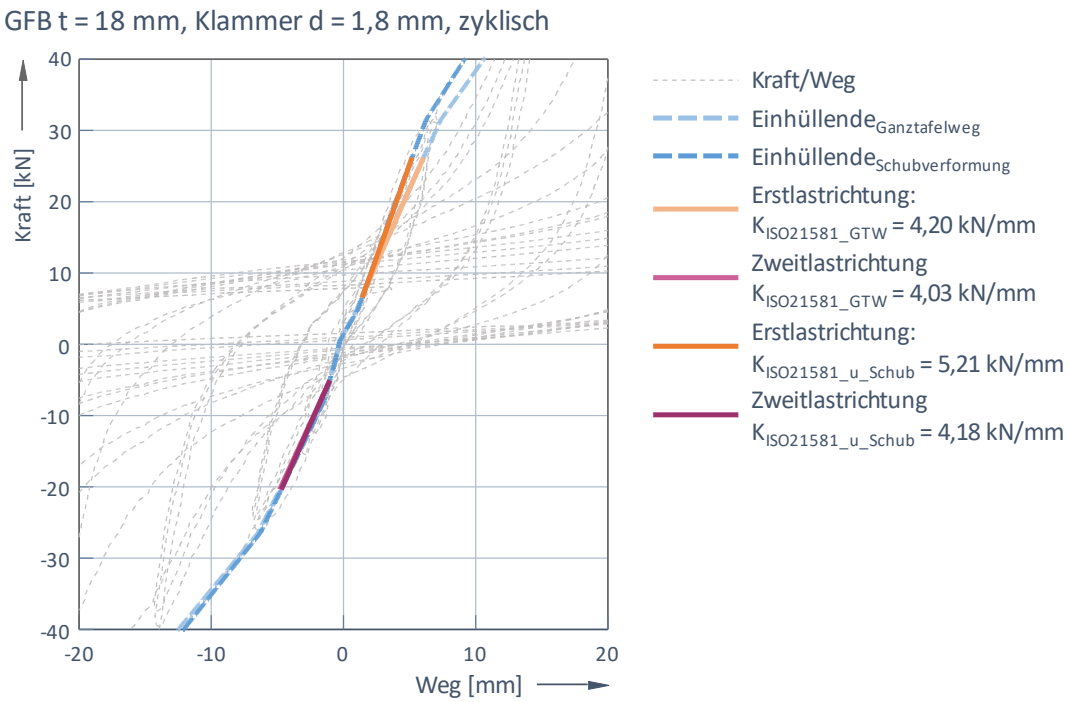


Abbildung B-215: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 04_c_1

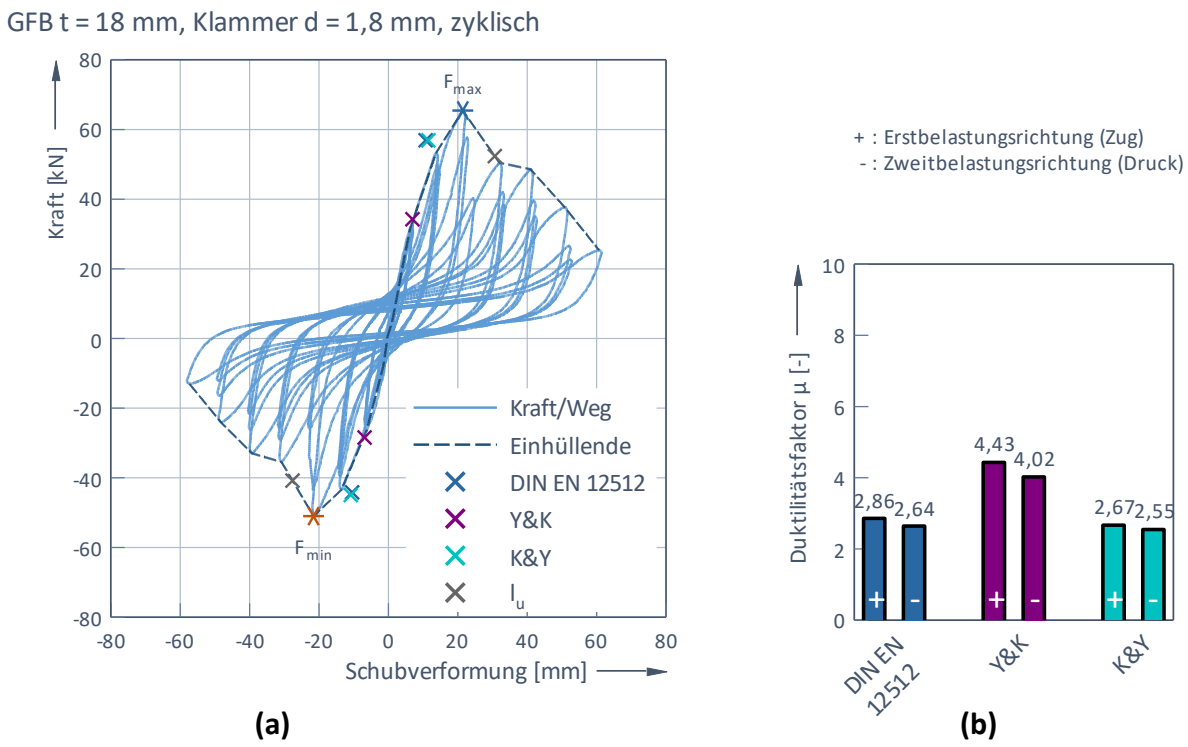


Abbildung B-216: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 04_c_1

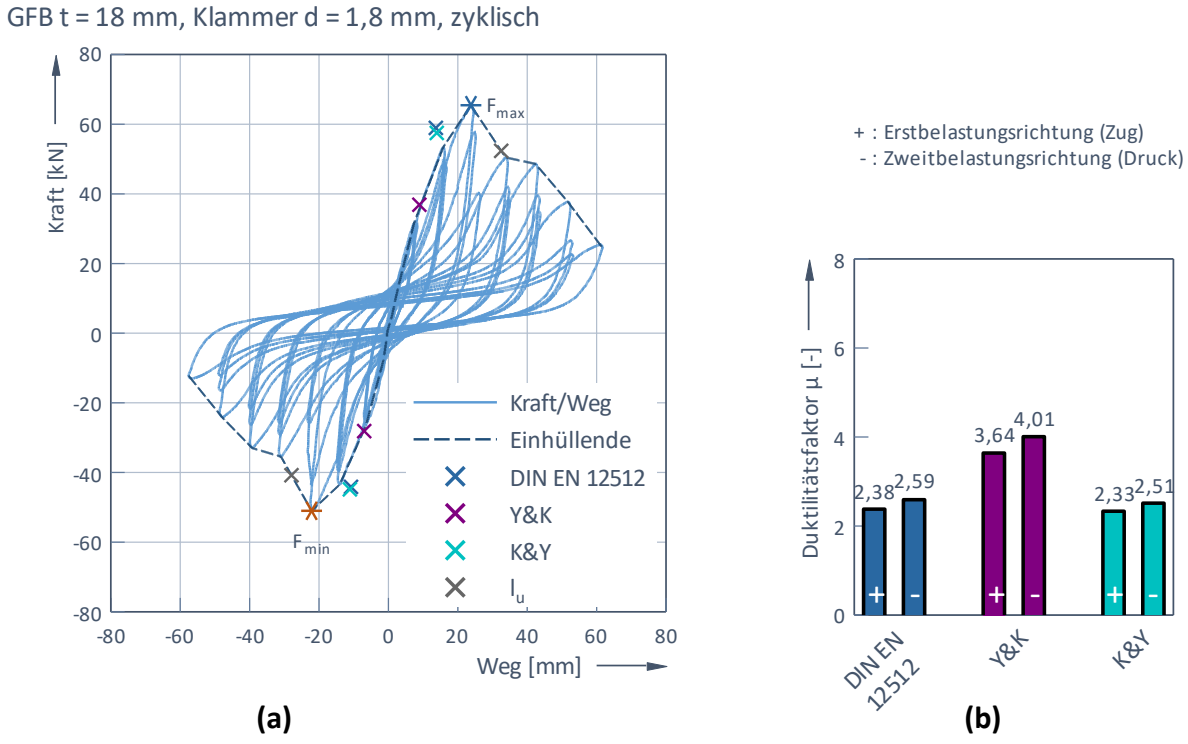


Abbildung B-217: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 04_c_1

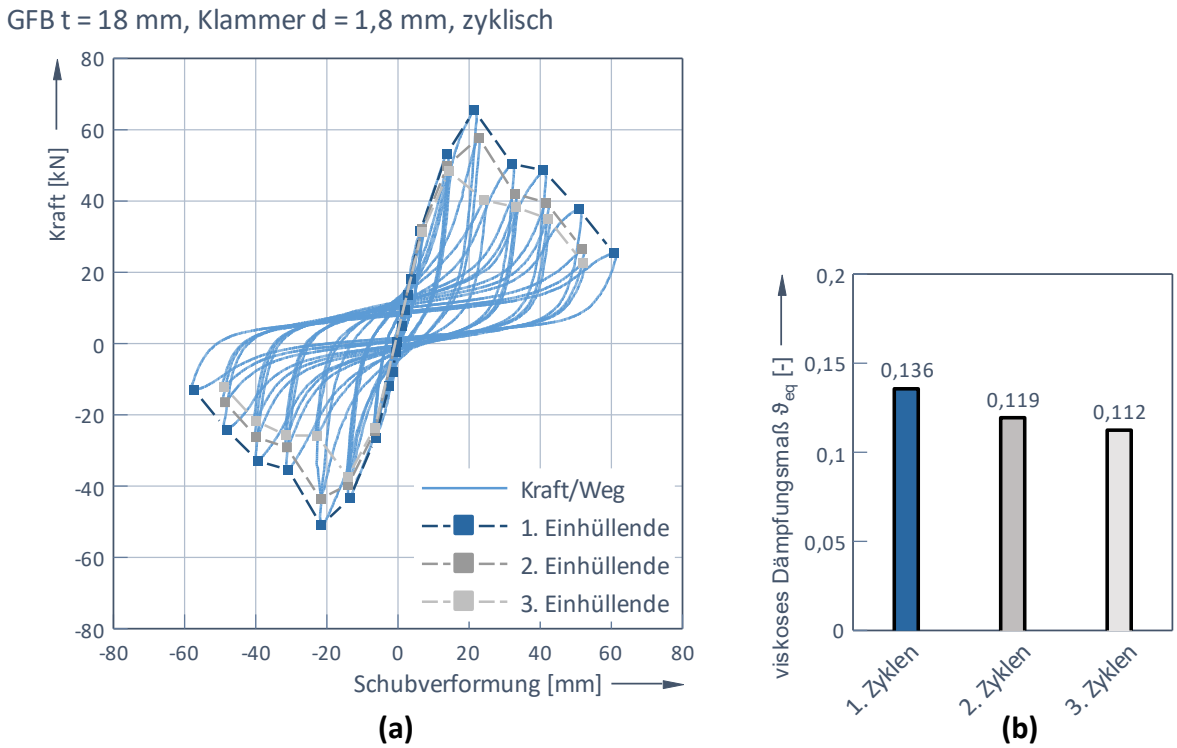


Abbildung B-218: Einhüllende (a) und Vergleich des mittleren viskosen Dämpfungsmaßes in den ersten bis dritten Gesamtzyklen der 3er-Zyklen-Kollektive (b); WT 04_c_1

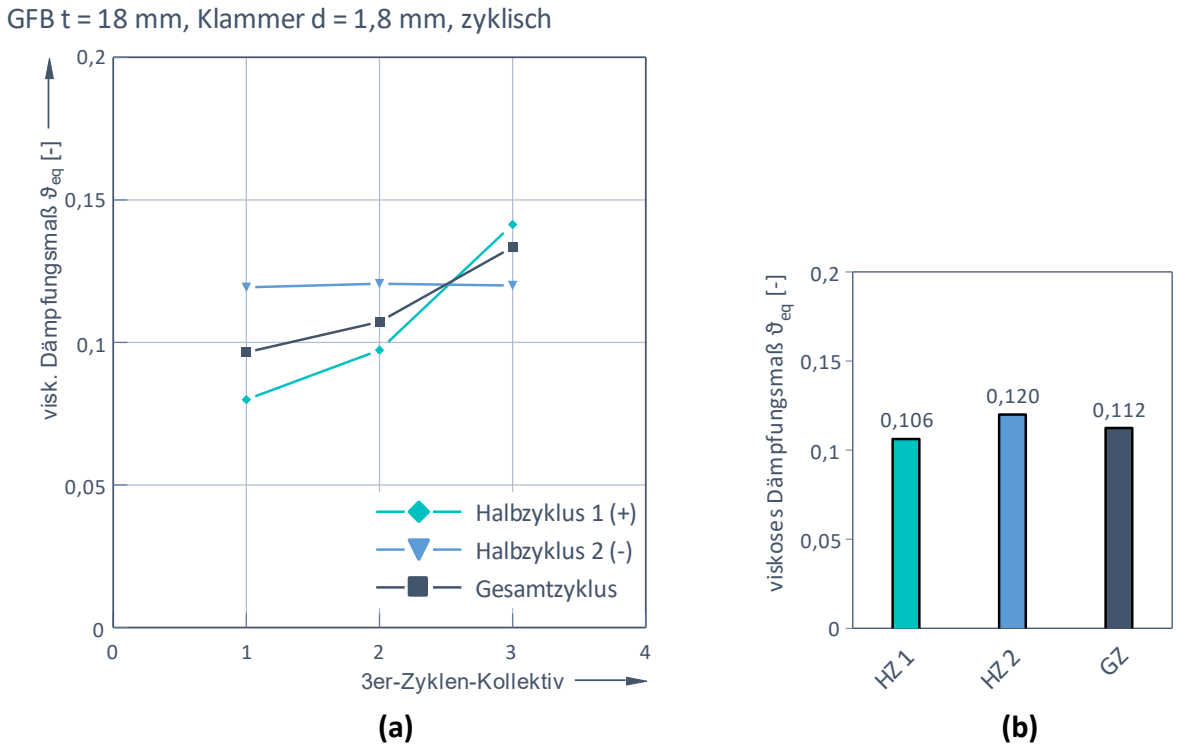
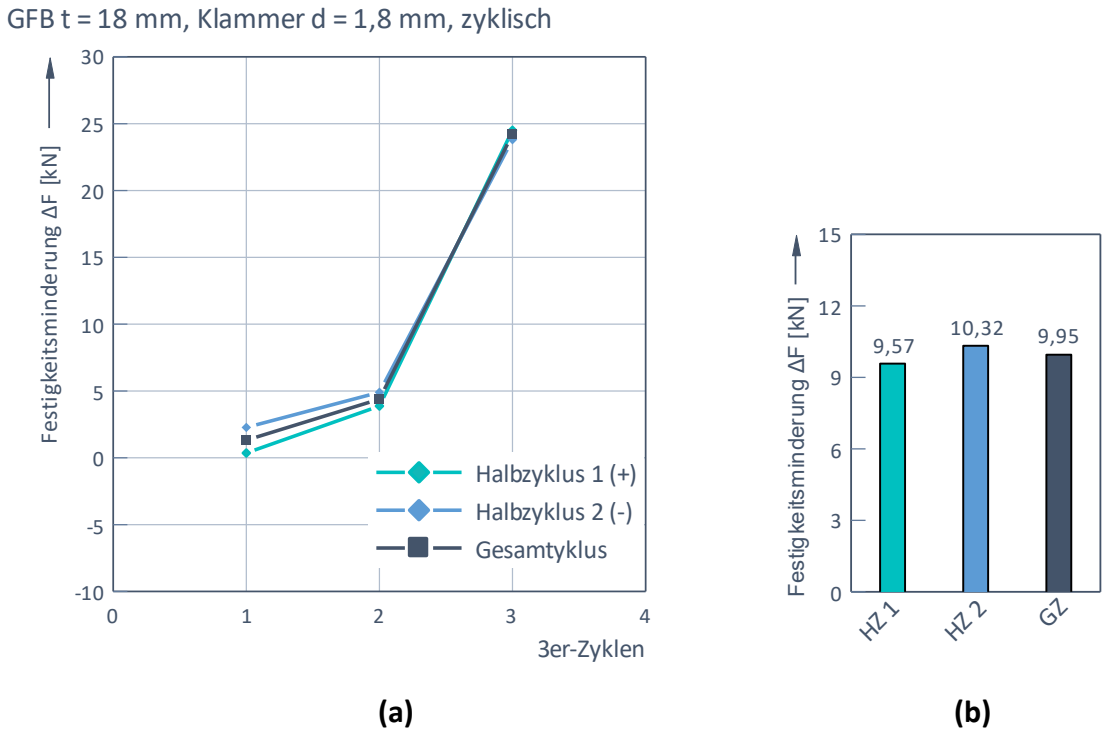


Abbildung B-219: Vergleich des viskosen Dämpfungsmaßes als Einzelwerte (a) und Mittelwerte (b) der dritten Zyklen der 3er-Zyklen-Kollektive; WT 04_c_1



(a) **(b)**

Abbildung B-220: Vergleich der Festigkeitsminderung der 3er-Zyklen-Kollektive als Einzelwerte je Zyklus (a) und als Mittelwerte je Halbzyklus (b); WT 04_c_1

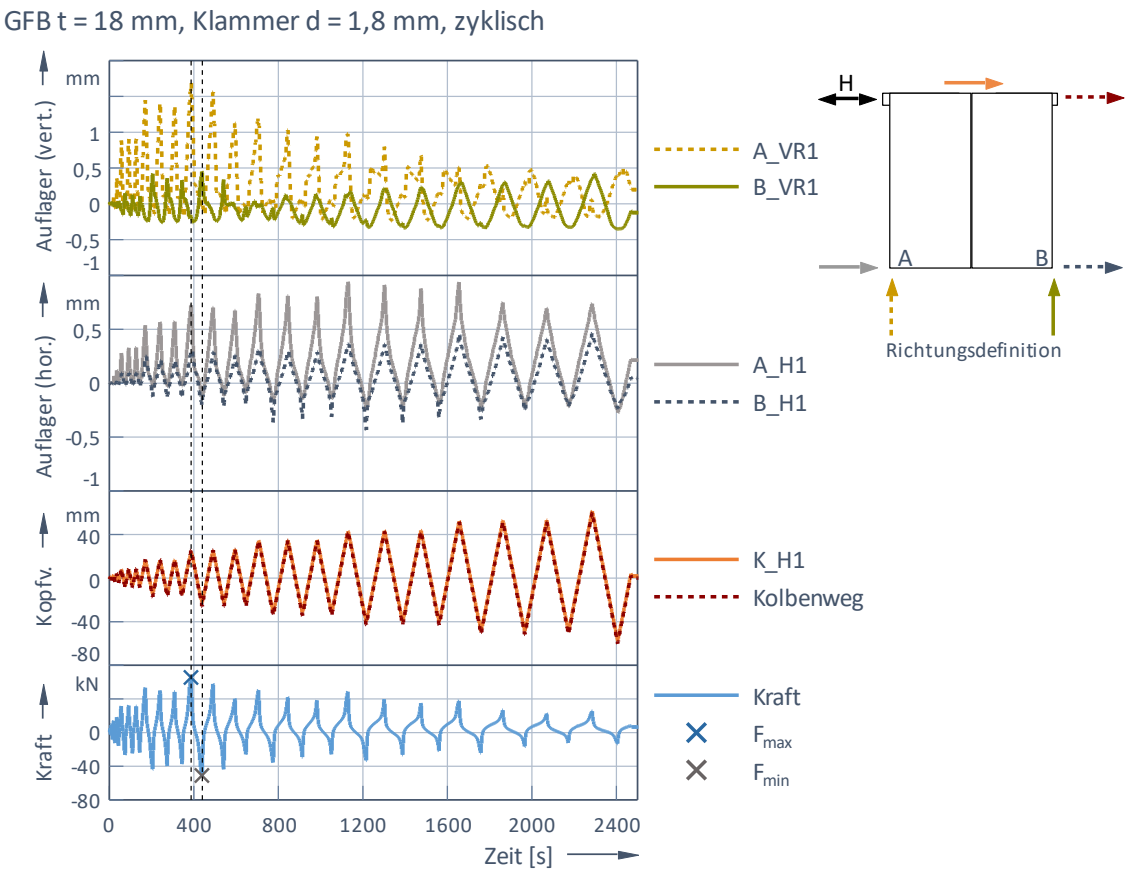


Abbildung B-221: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 04_c_1

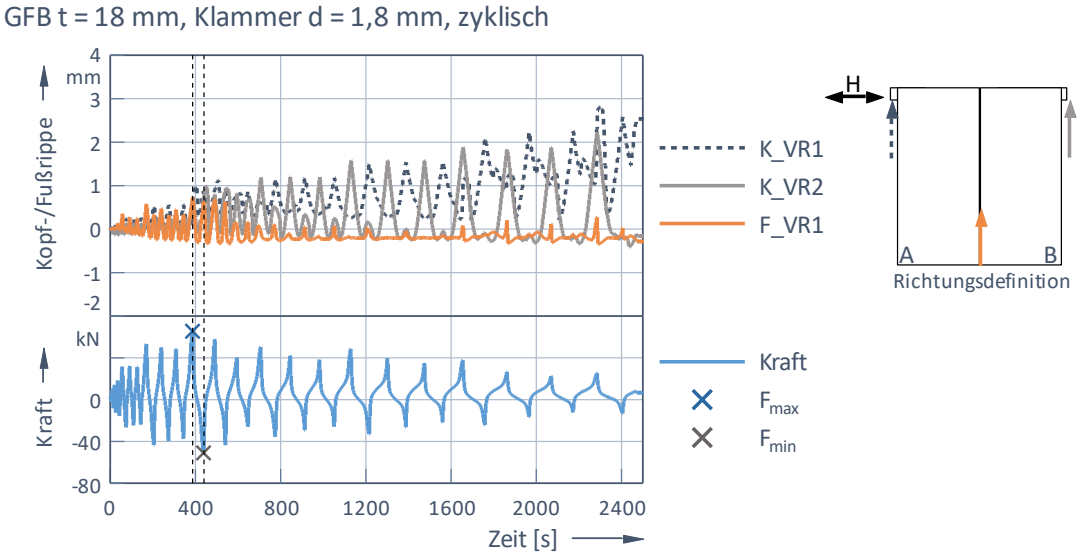


Abbildung B-222: Wegmessungen an Kopf- und Fußrippe; WT 04_c_1

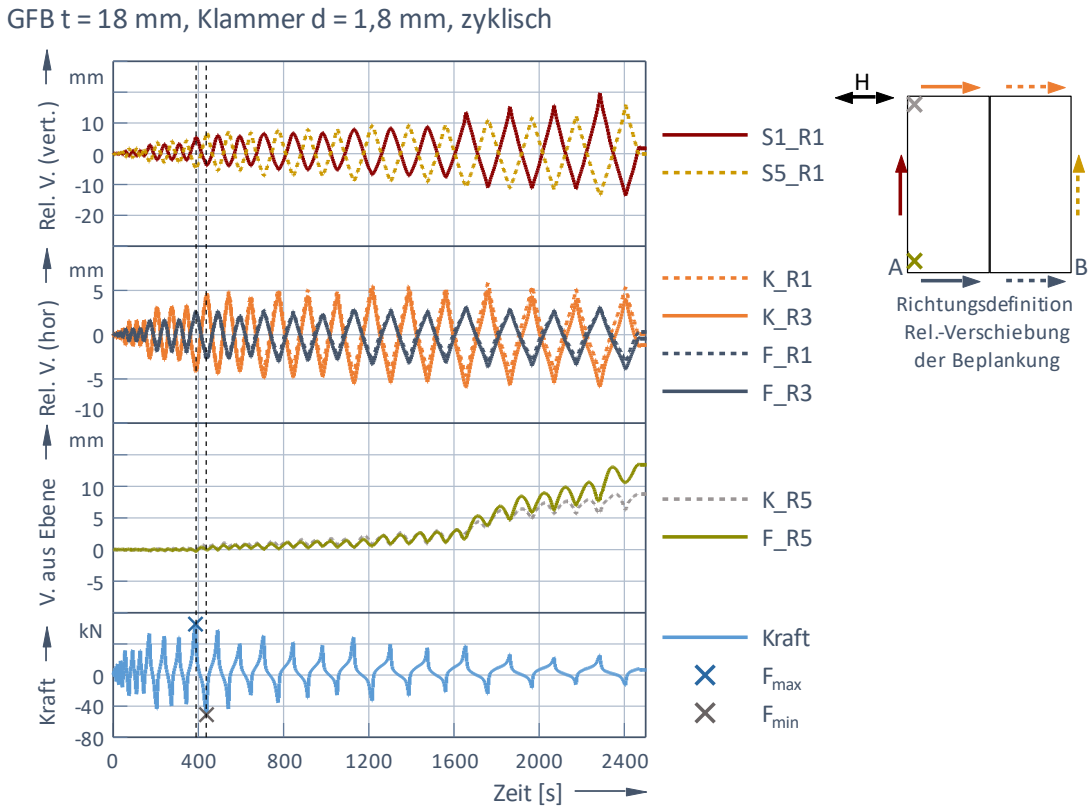


Abbildung B-223: Wegmessungen an Beplankung; WT 04_c_1

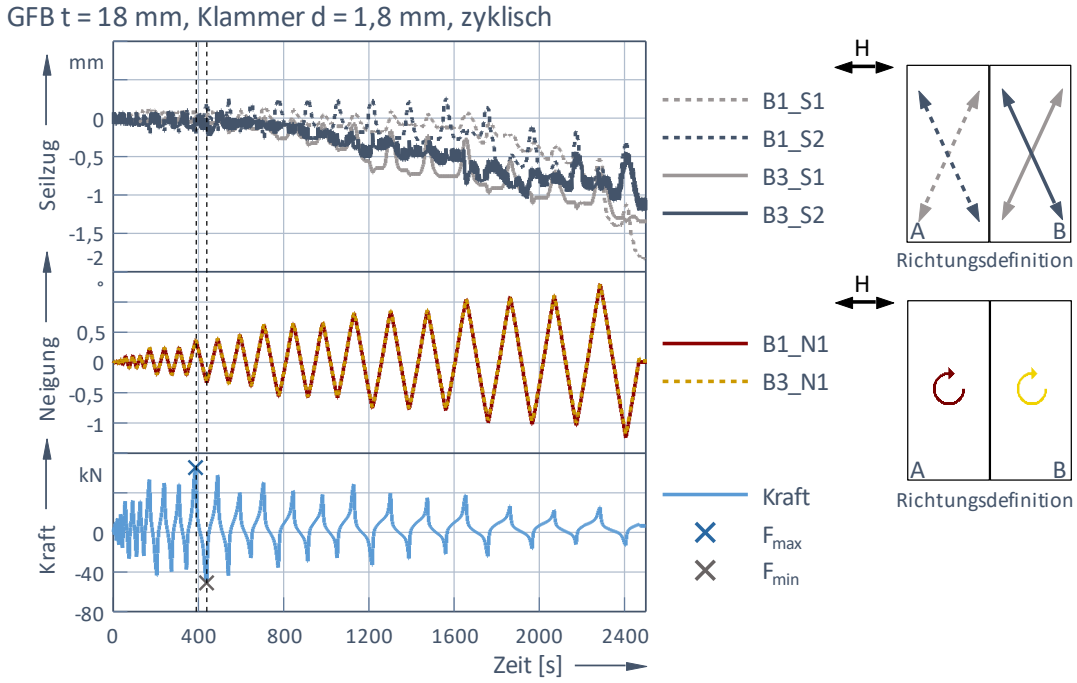


Abbildung B-224: Weg- und Neigungsmessungen an Beplankung; WT 04_c_1

B.19 Wandtafel 05_c_1

Tabelle B-19: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 05_c_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm, KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	OSB/3, t = 15 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 12,5 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	Keine	

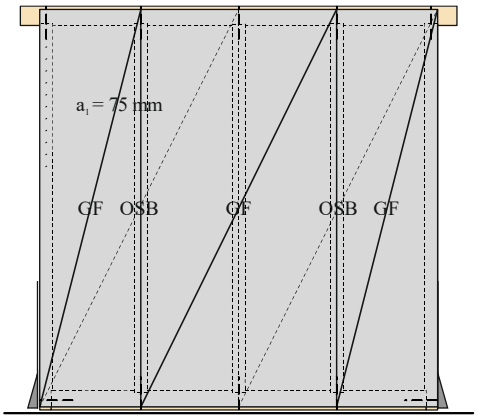


Abbildung B-225: Wandtafel 05_c_1

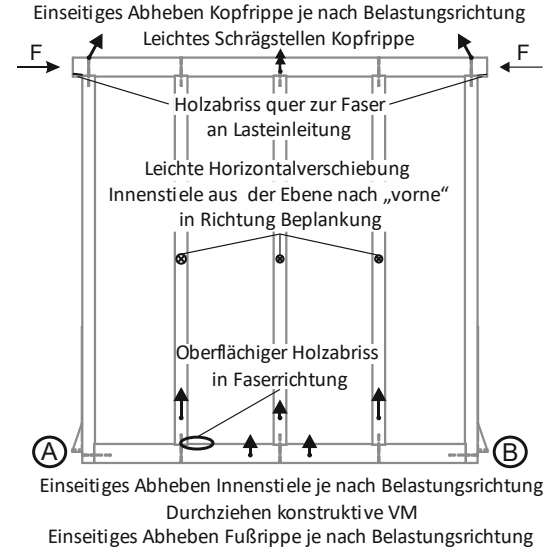
Untersuchung		
Datum	06.07.2023	
Raumtemperatur T	24,9 °	
Raumfeuchte R_H	41 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 479 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 546 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 465 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 497 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	14,0 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Zyklisch
Belastung	1,0 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximal-/Minimalkraft	99,0 kN / -87,1 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

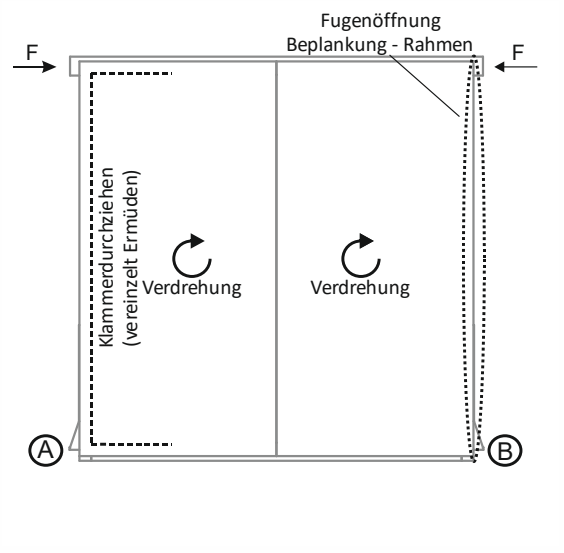
Während Versuch:

- Riss mittig durch Bekleidung 2 in drittem Druckzyklus 0,6·l_u
- GFB-Abbruch an Bekleidung 2 in erstem Druckzyklus 1,2·l_u
- Versuchsabbruch, da bei weiteren Verformungen mehrere Wegaufnehmer unkontrolliert abspringen könnten
- Leichte Bewegung seitliche Halterung

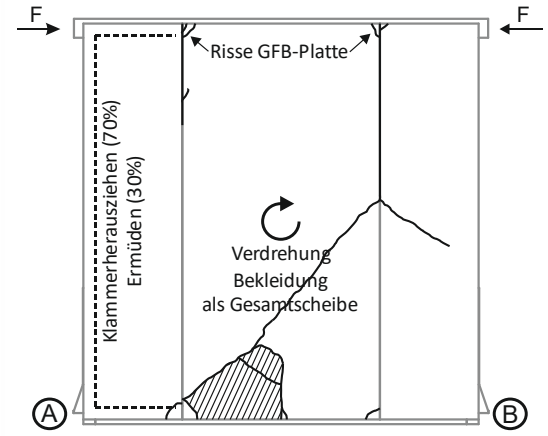
Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



(a)

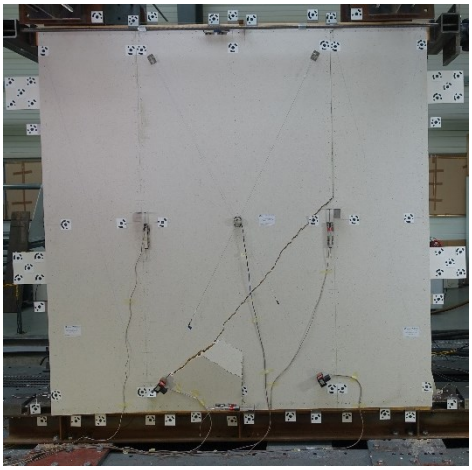


(b)



(c)

Abbildung B-226: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung (c); WT 05_c_1



(a)



(b)



(c)

Abbildung B-227: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 05_c_1

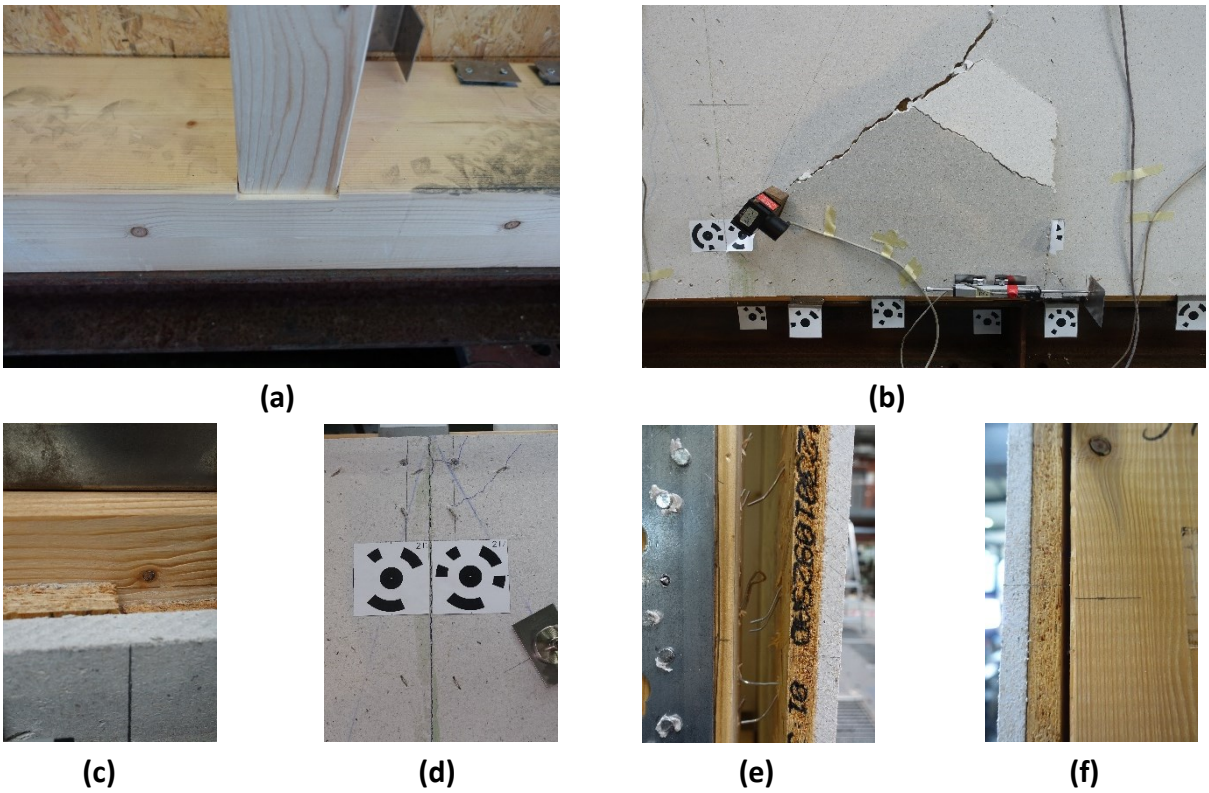


Abbildung B-228: Horizontalverschiebung Stiel 2 (a), GFB-Abbruch Bekleidung 2 (b), Relativverschiebung Beplankung 1 und 3 (c), Rissbildung Fuge Bekleidung 1 und 2 (d), Klammerdurchziehen, -herausziehen und -ermüden Stiel 1 (e), Fugenöffnung Beplankung 3 und Stiel 5 (f); WT 05_c_1

Untersuchungsergebnisse

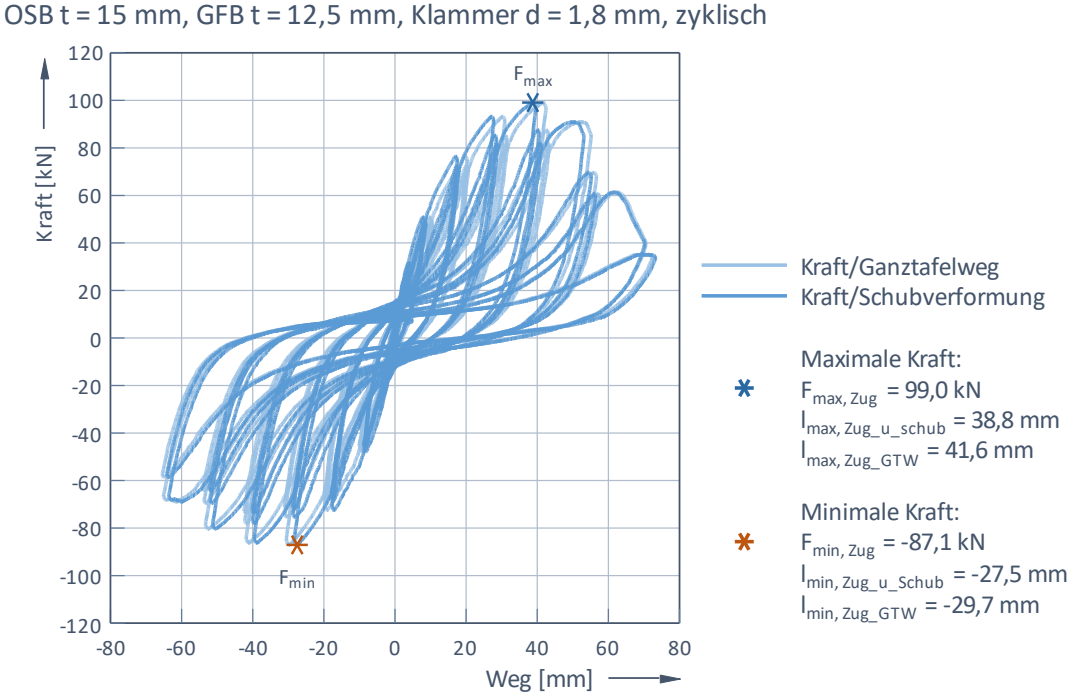


Abbildung B-229: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg und Schubverformung; WT 05_c_1

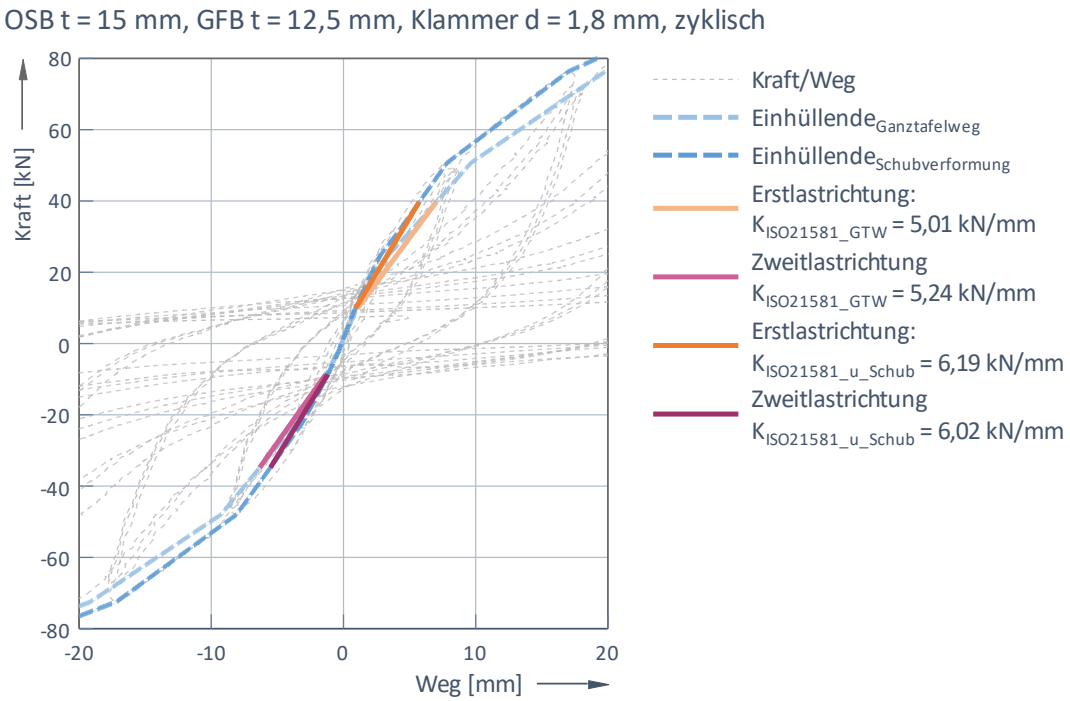


Abbildung B-230: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 05_c_1

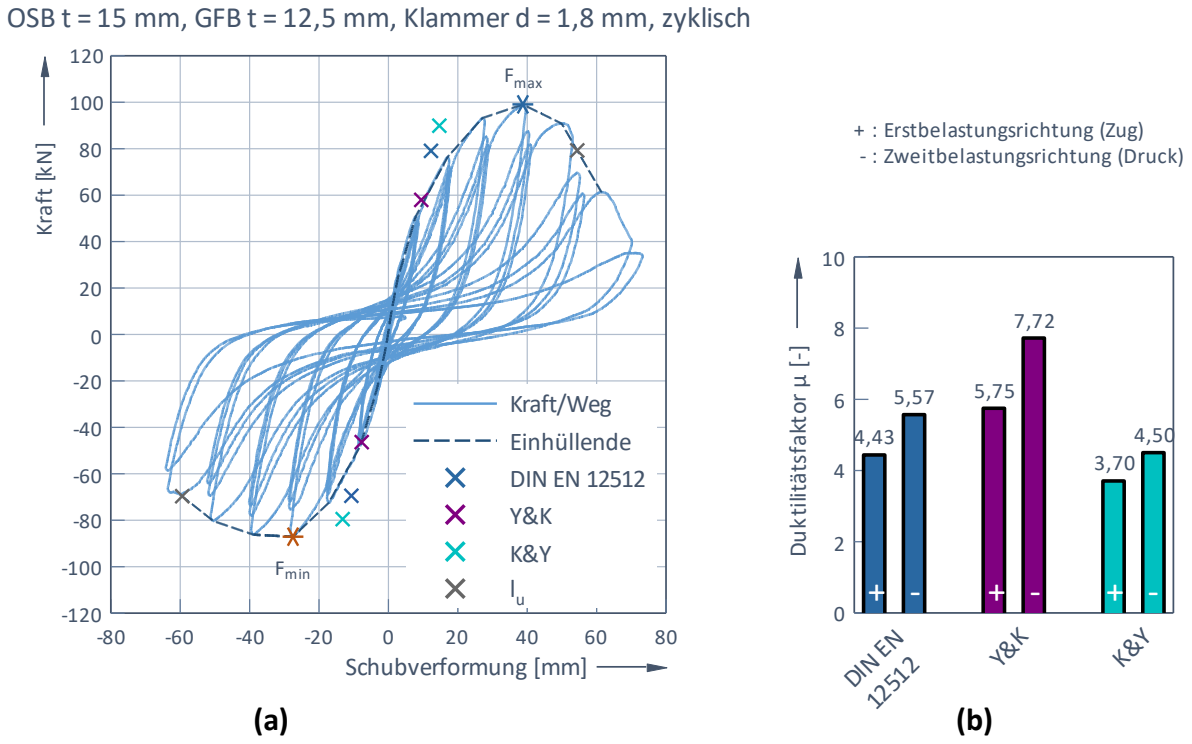


Abbildung B-231: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 05_c_1

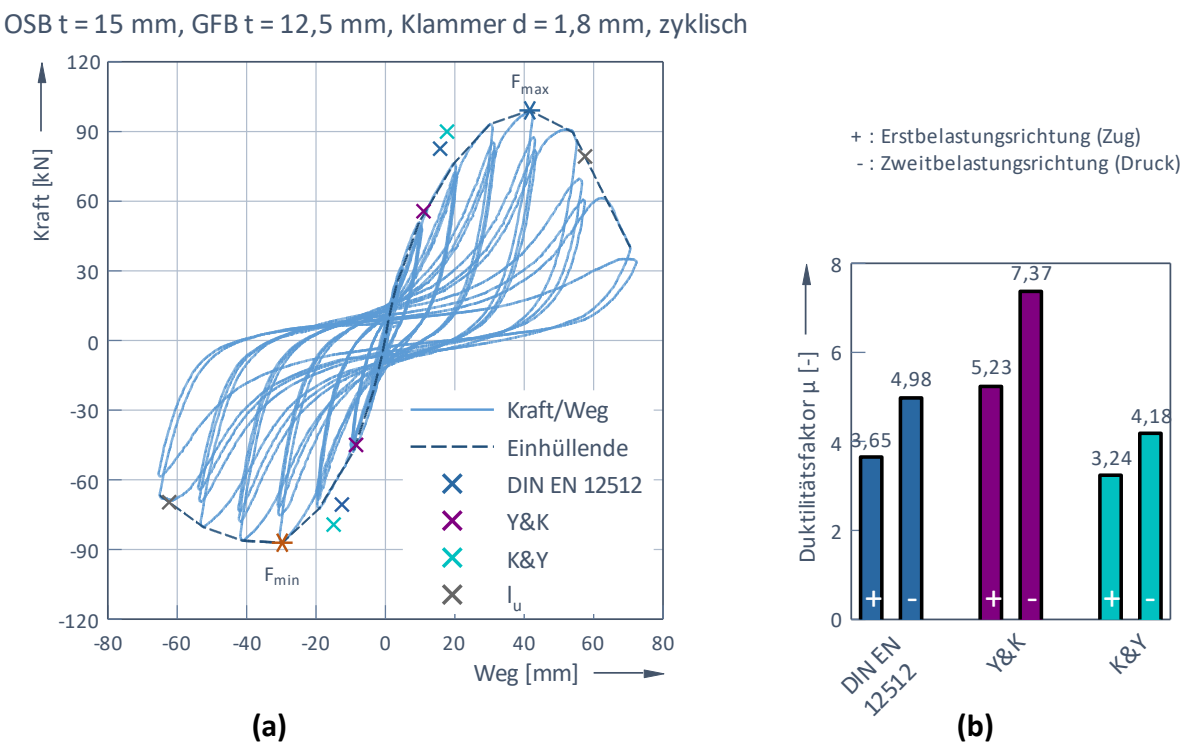


Abbildung B-232: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 05_c_1

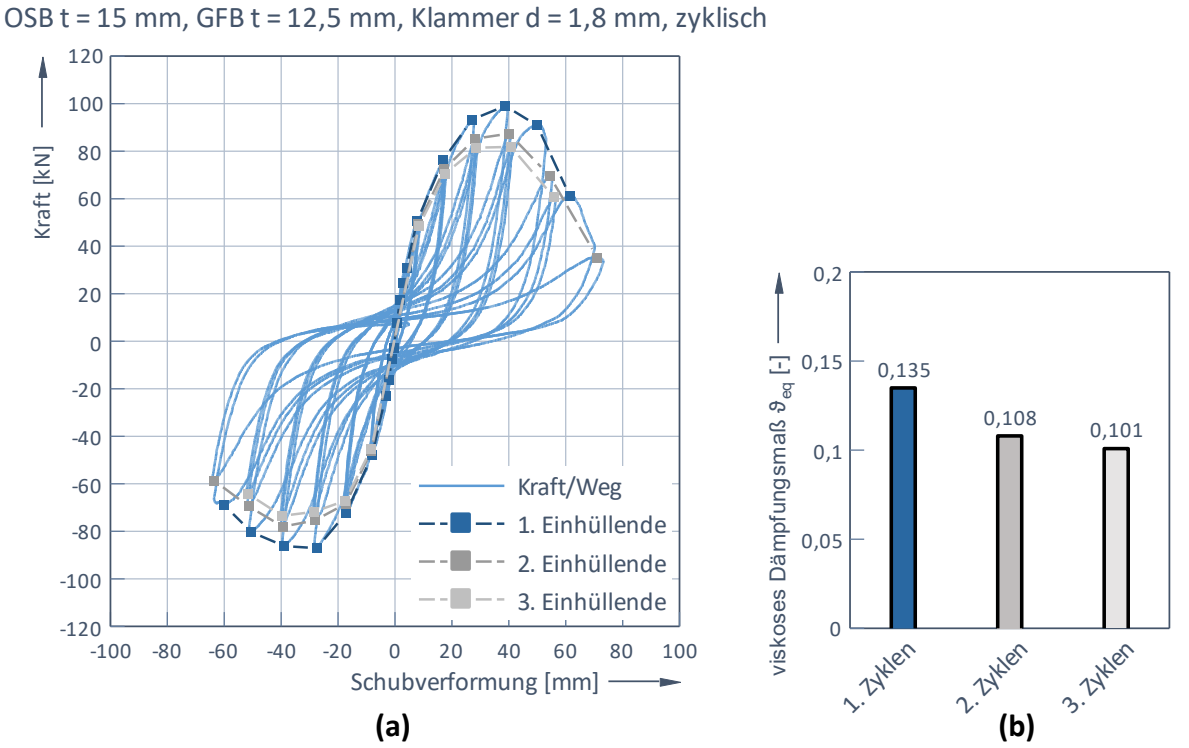


Abbildung B-233: Einhüllende (a) und Vergleich des mittleren viskosen Dämpfungsmaßes in den ersten bis dritten Gesamtzyklen der 3er-Zyklen-Kollektive (b); WT 05_c_1

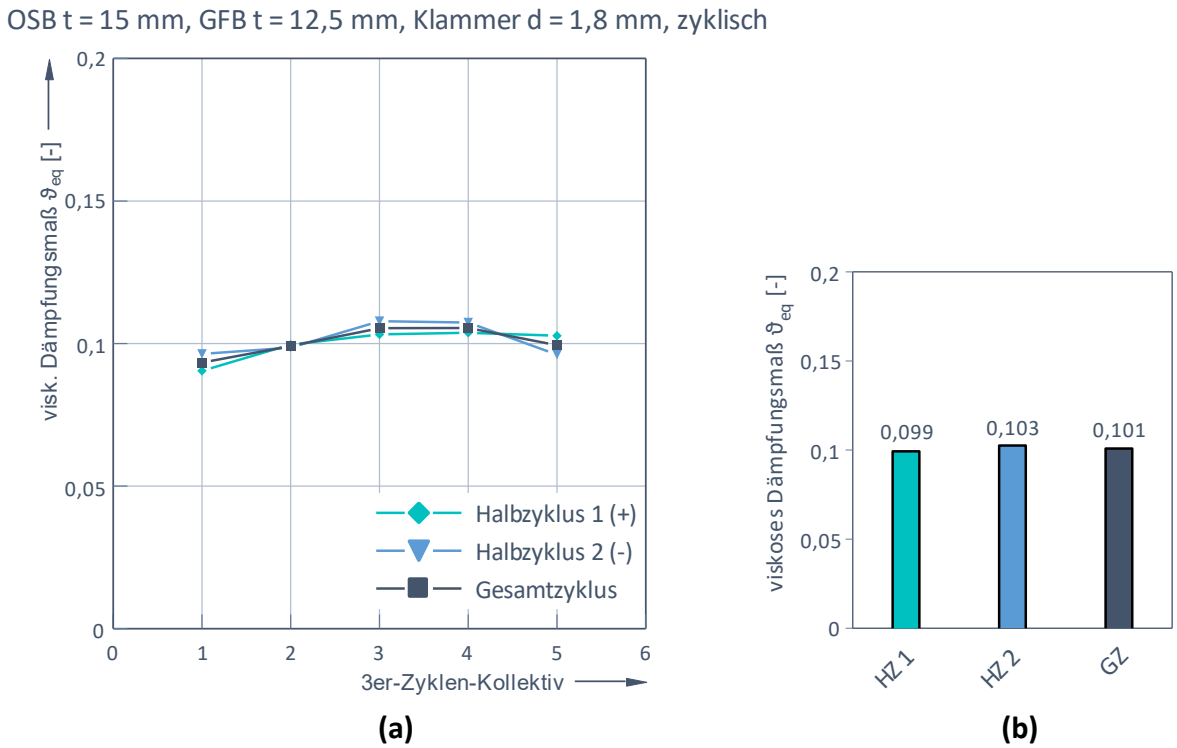


Abbildung B-234: Vergleich des viskosen Dämpfungsmaßes als Einzelwerte (a) und Mittelwerte (b) der dritten Zyklen der 3er-Zyklen-Kollektive; WT 05_c_1

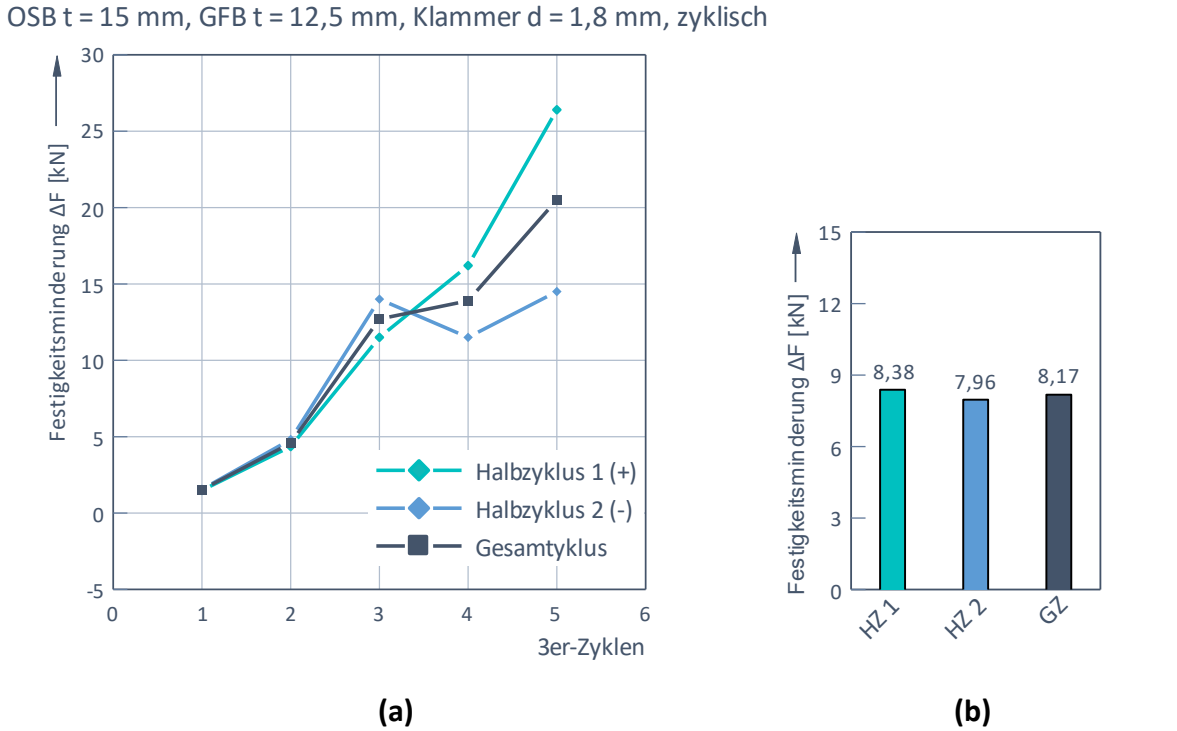


Abbildung B-235: Vergleich der Festigkeitsminderung der 3er-Zyklen-Kollektive als Einzelwerte je Zyklus (a) und als Mittelwerte je Halbzyklus (b); WT 05_c_1

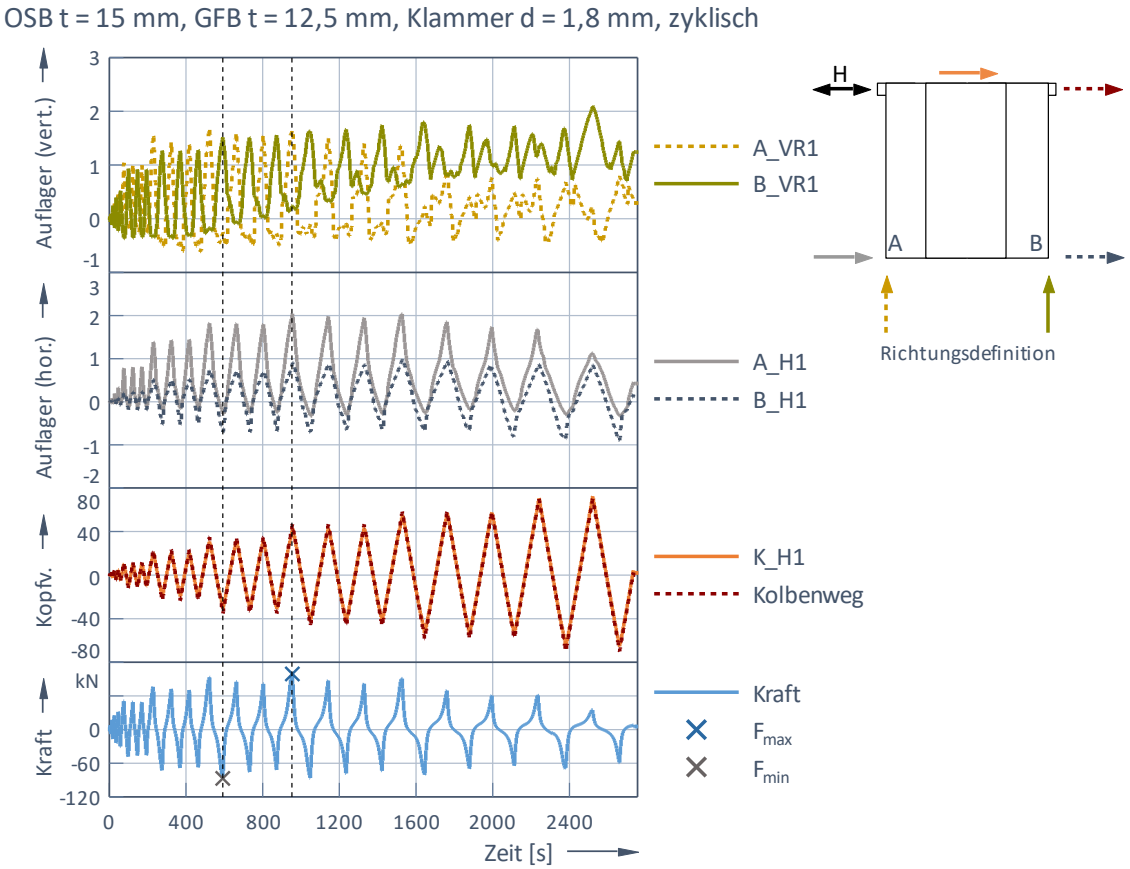


Abbildung B-236: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 05_c_1

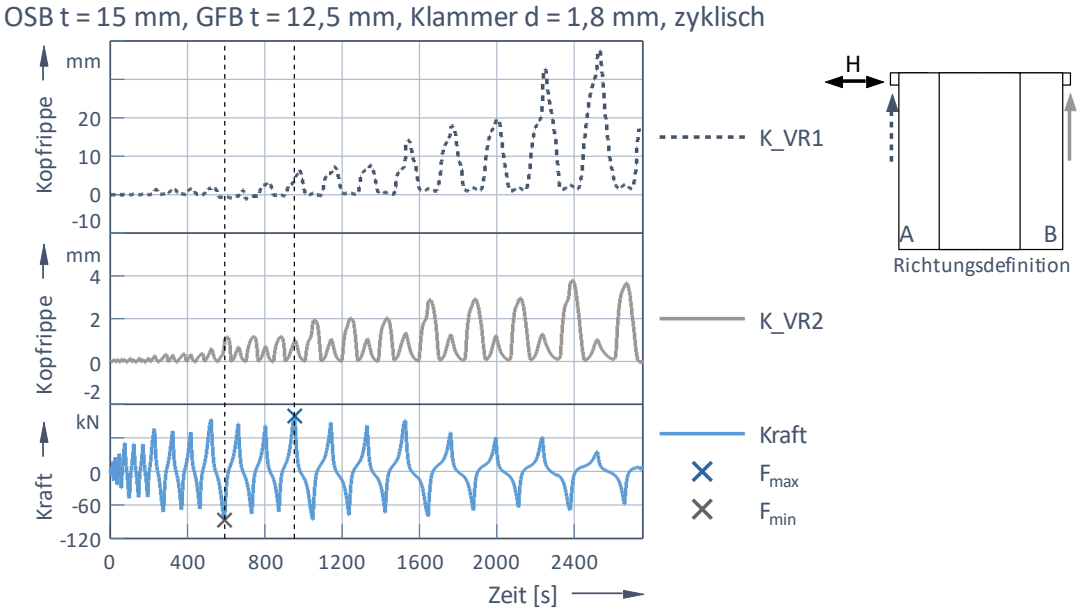


Abbildung B-237: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 05_c_1

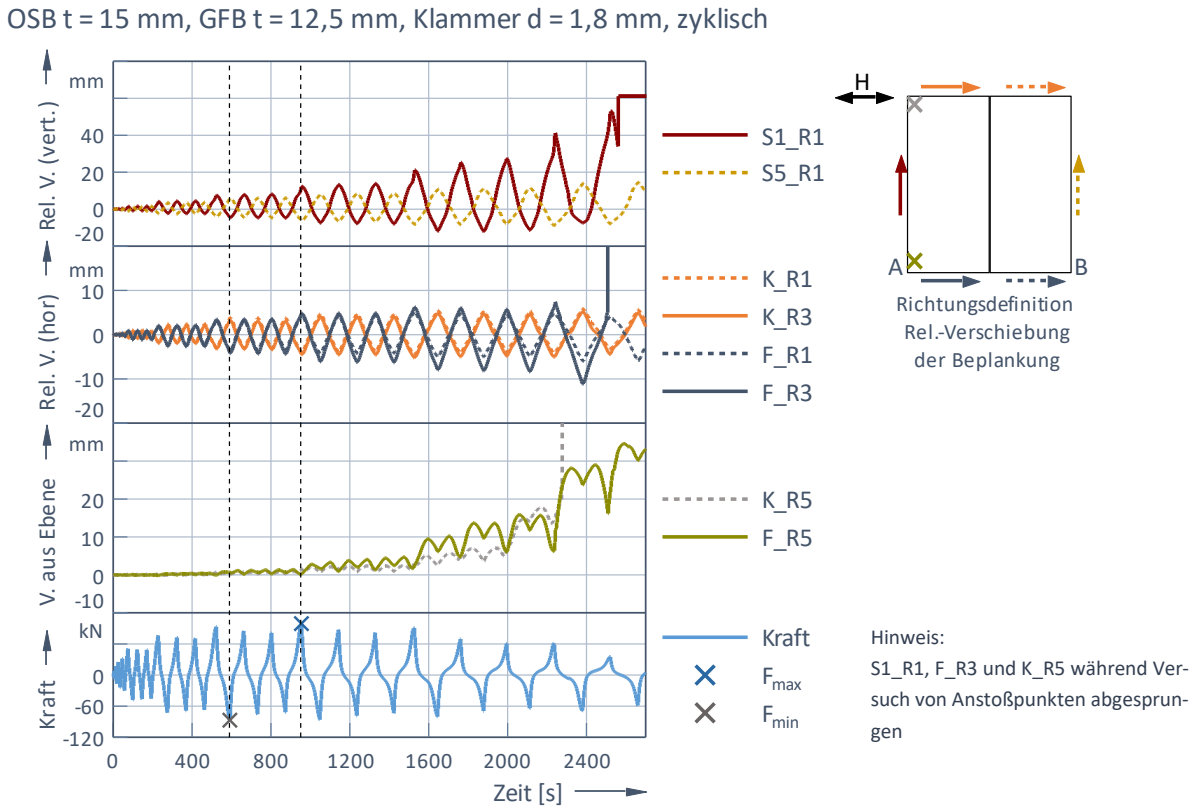


Abbildung B-238: Wegmessungen an Beplankung; WT 05_c_1

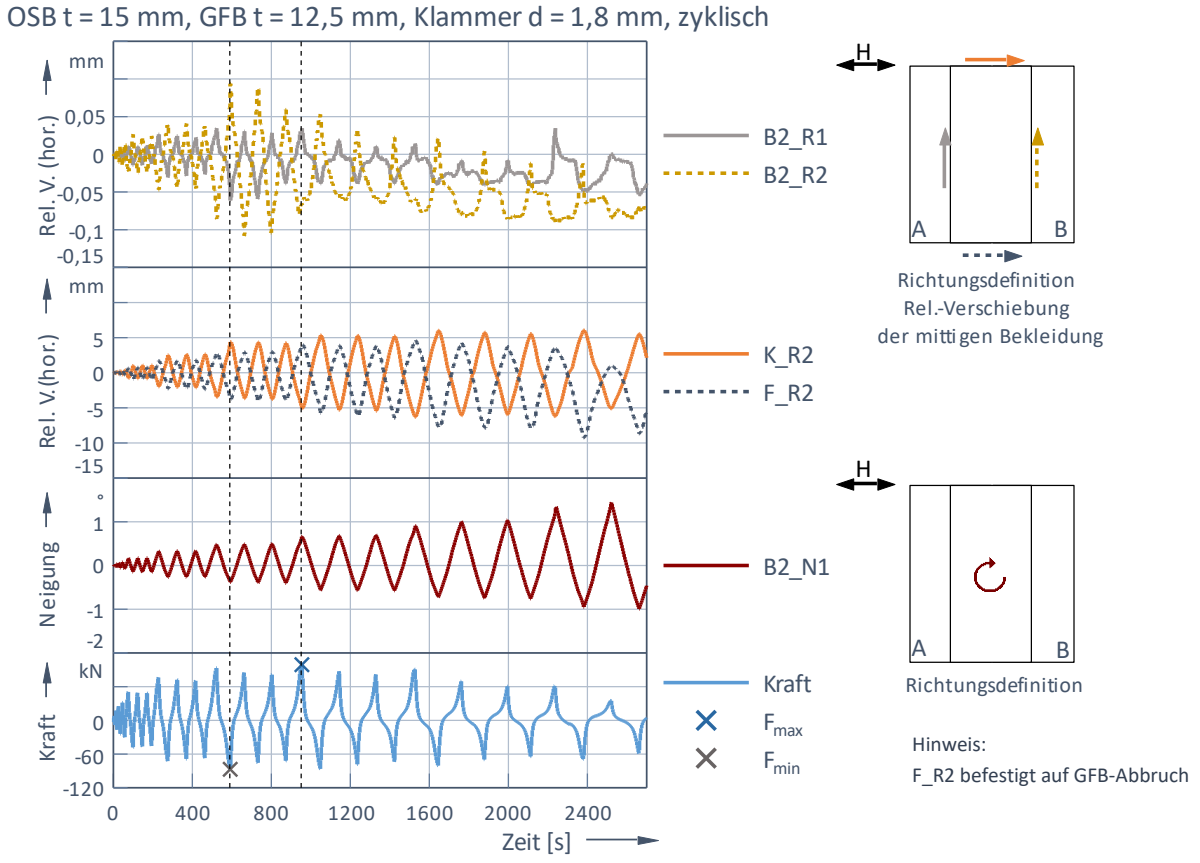


Abbildung B-239: Wegmessungen an Bekleidung; WT 05_c_1

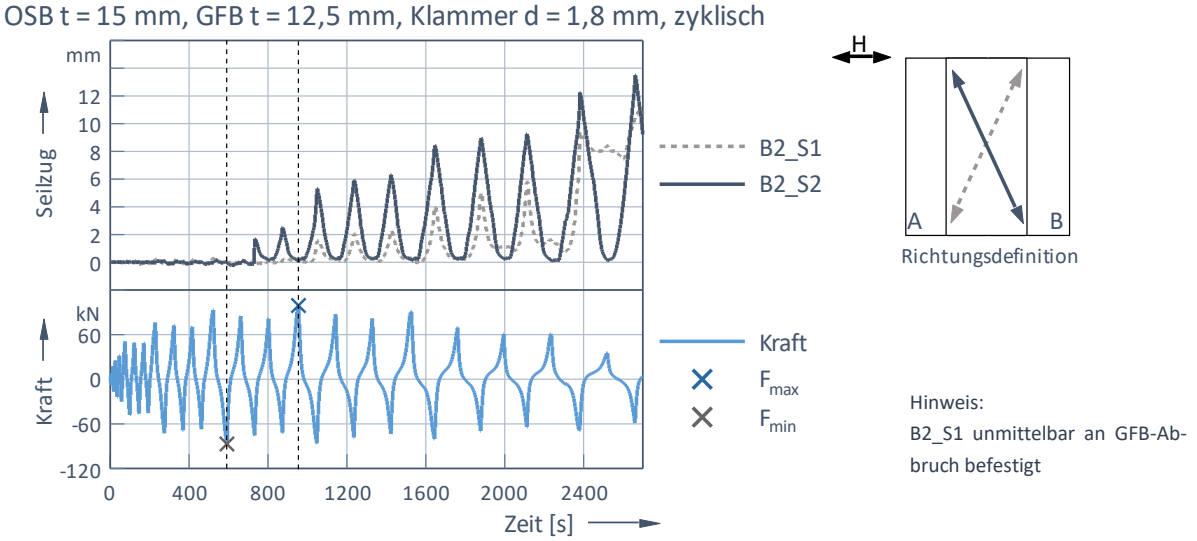


Abbildung B-240: Diagonale Wegmessungen an Bekleidung; WT 05_c_1

B.20 Wandtafel 06_c_1

Tabelle B-20: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 06_c_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	OSB/3, t = 15 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	Keine	

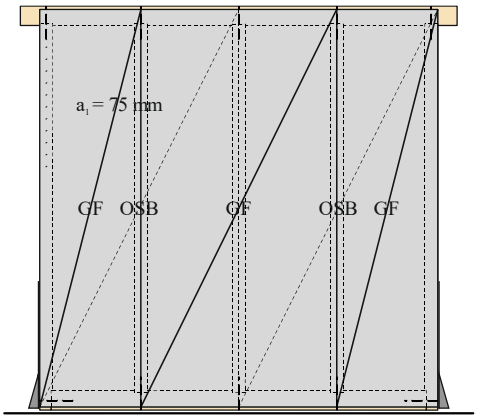


Abbildung B-241: Wandtafel 06_c_1

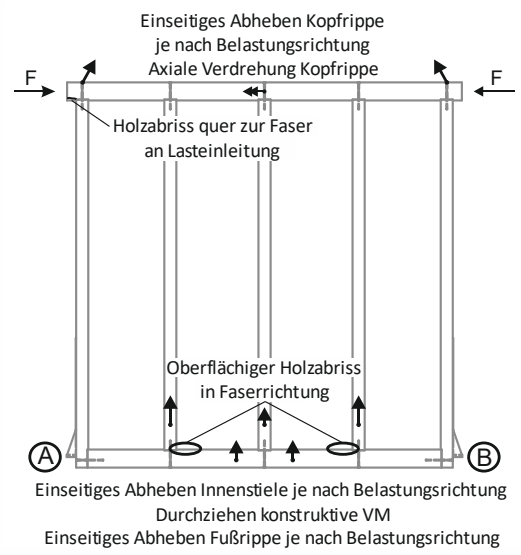
Untersuchung		
Datum	07.07.2023	
Raumtemperatur T	26,7 °C	
Raumfeuchte R_H	40 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 454 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 484 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 442 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 460 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	12,8 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Zyklisch
Belastung	1,0 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximal-/Minimalkraft	90,0 kN / -80,4 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

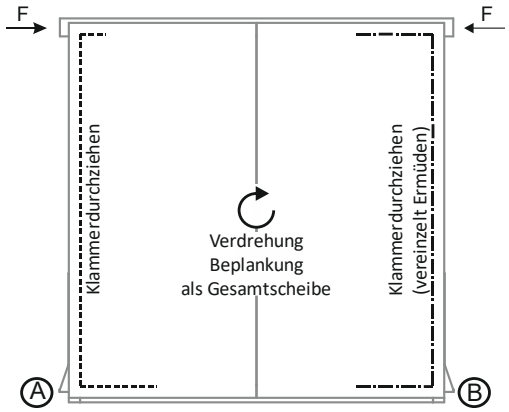
Während Versuch:

- Riss entlang Fuge zwischen Bekleidung 2 und 3 tritt vor Erreichen der maximalen Druckbelastung auf
- Leichte Bewegung seitliche Halterung

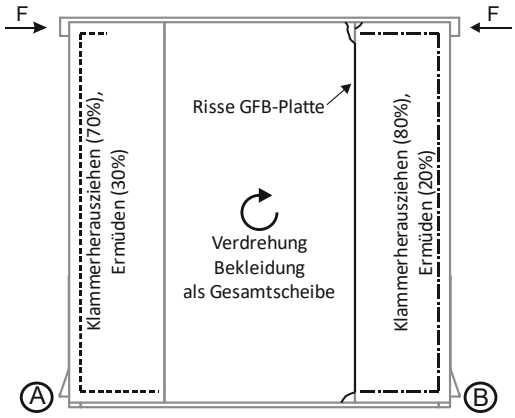
Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



(a)

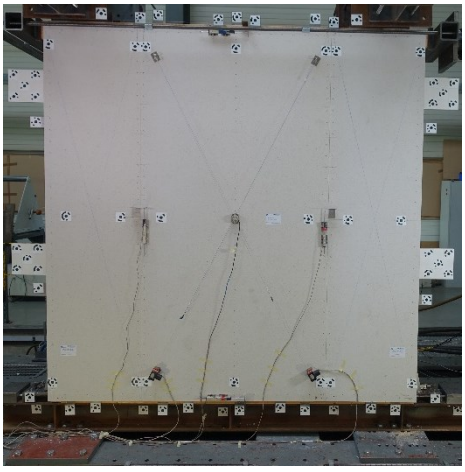


(b)



(c)

Abbildung B-242: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung (c); WT 06_c_1



(a)

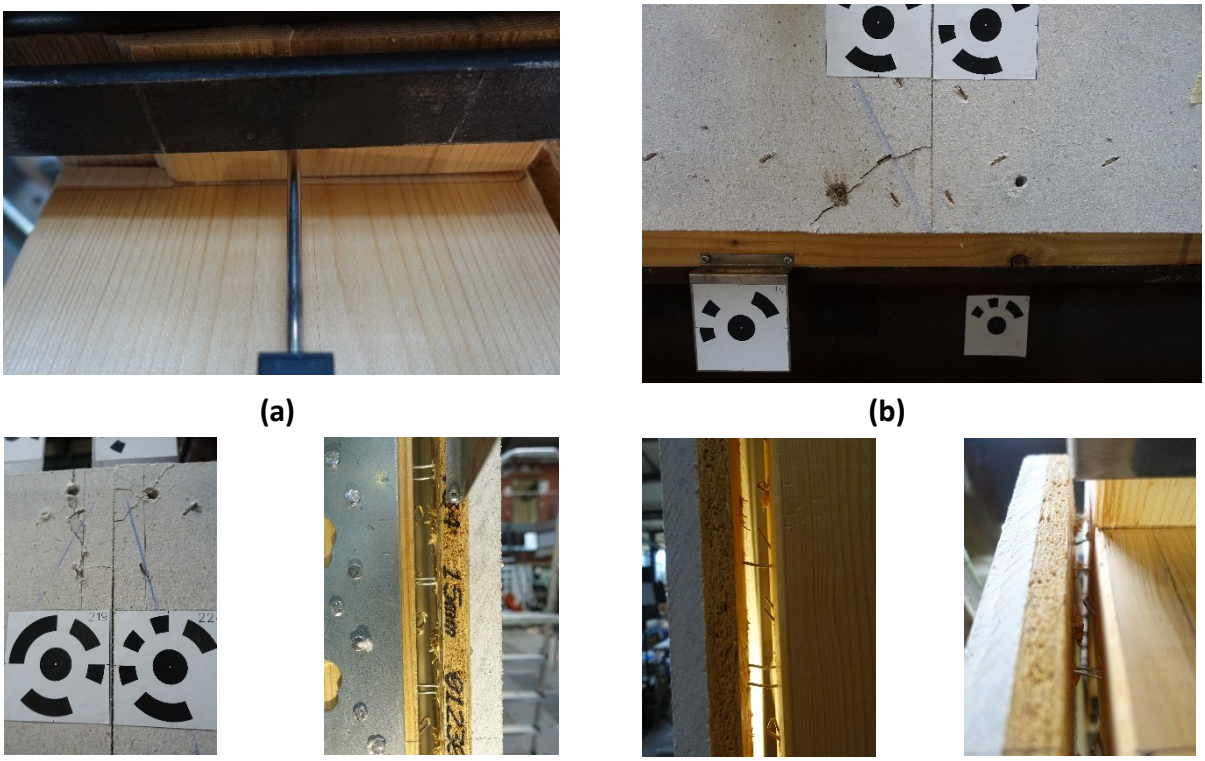


(b)



(c)

Abbildung B-243: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 06_c_1



(a) (b)

(c) (d) (e) (f)

Abbildung B-244: Axiale Verdrehung und Holzabriss Kopfrippe (a), Eckrissbildung in Bekleidung 2 und 3 (b-c), Klammerdurchziehen Beplankung sowie Klammerherausziehen und -ermüden Bekleidung (d-f); WT 06_c_1

Untersuchungsergebnisse

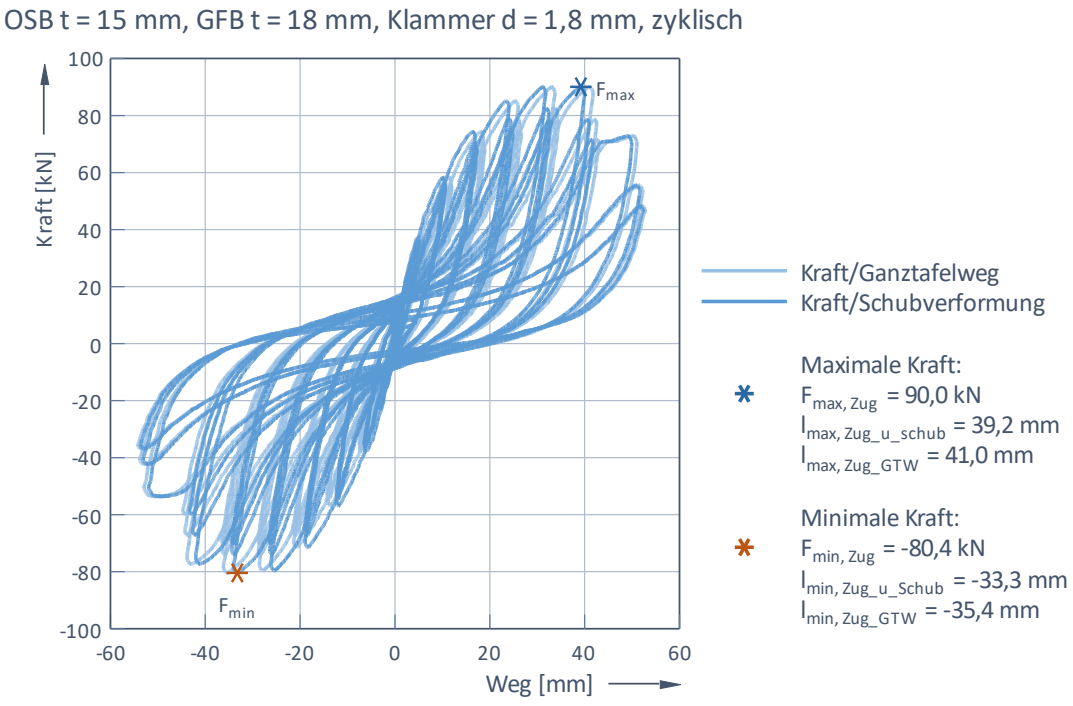


Abbildung B-245: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg und Schubverformung; WT 06_c_1

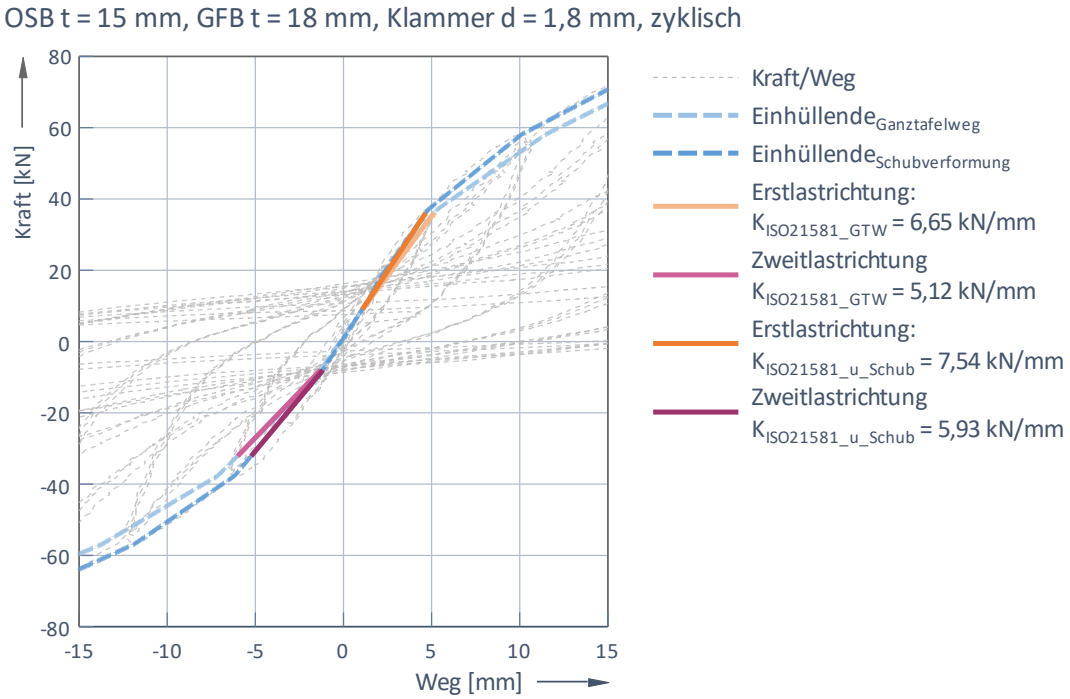


Abbildung B-246: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 06_c_1

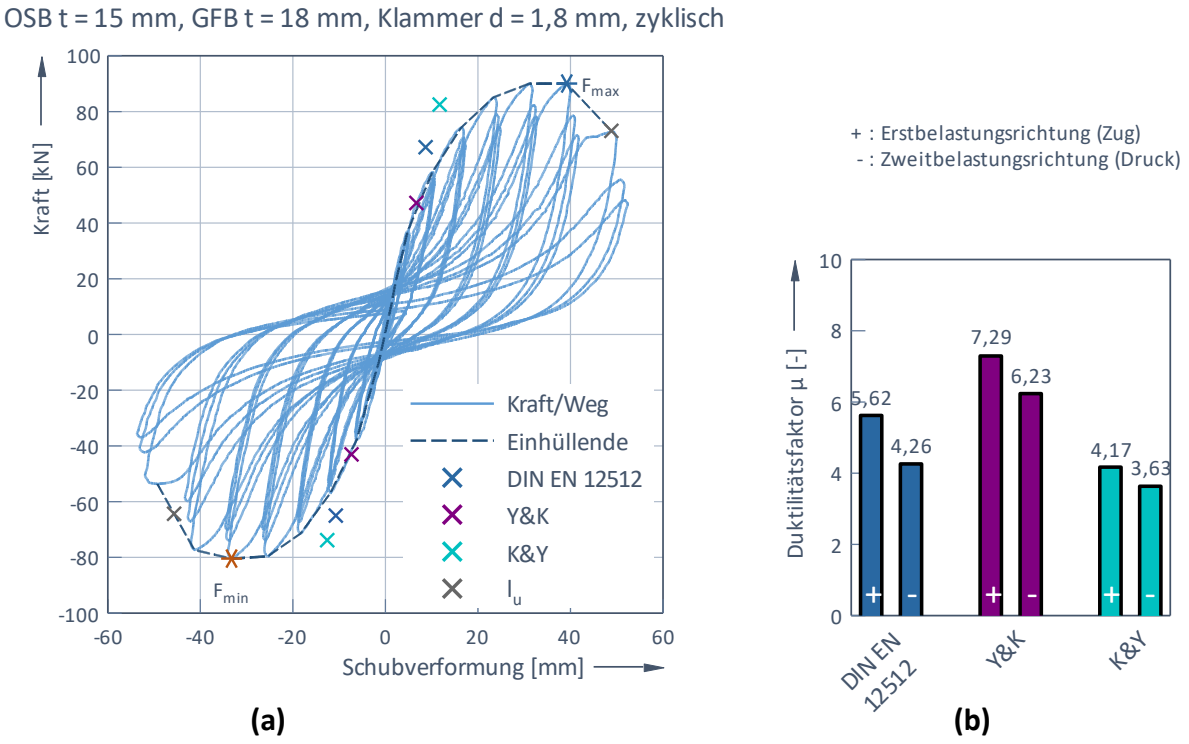


Abbildung B-247: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 06_c_1

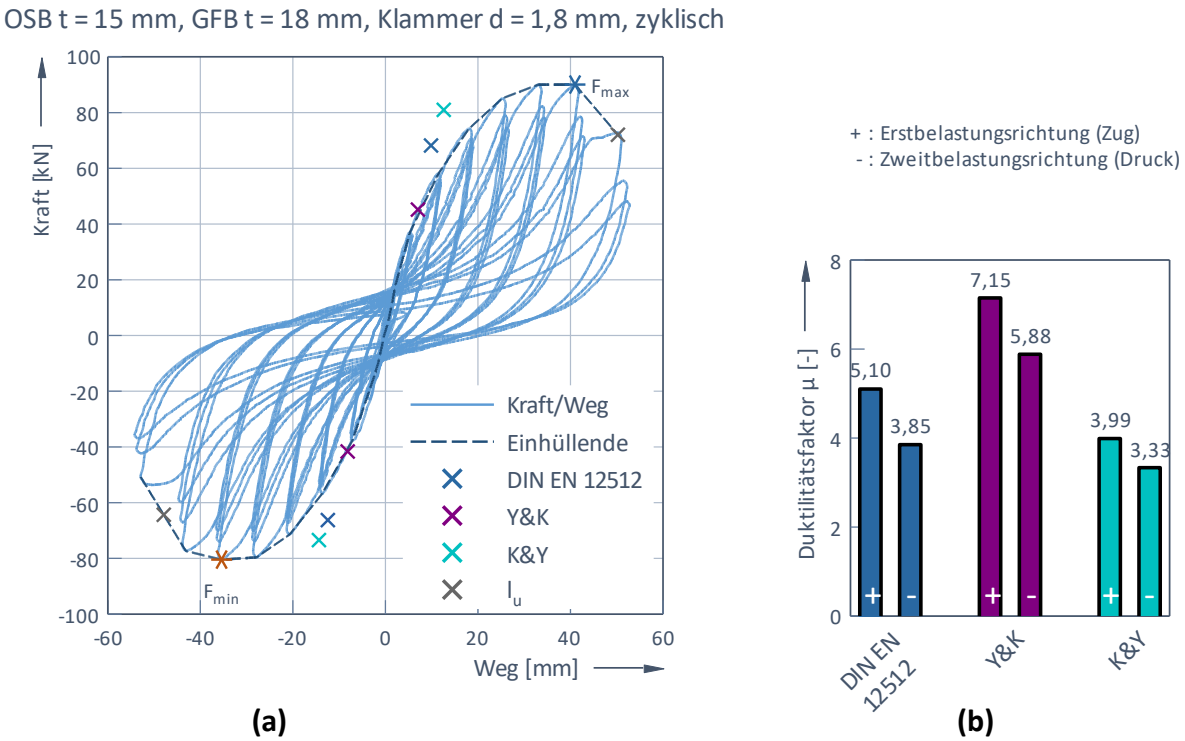


Abbildung B-248: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 06_c_1

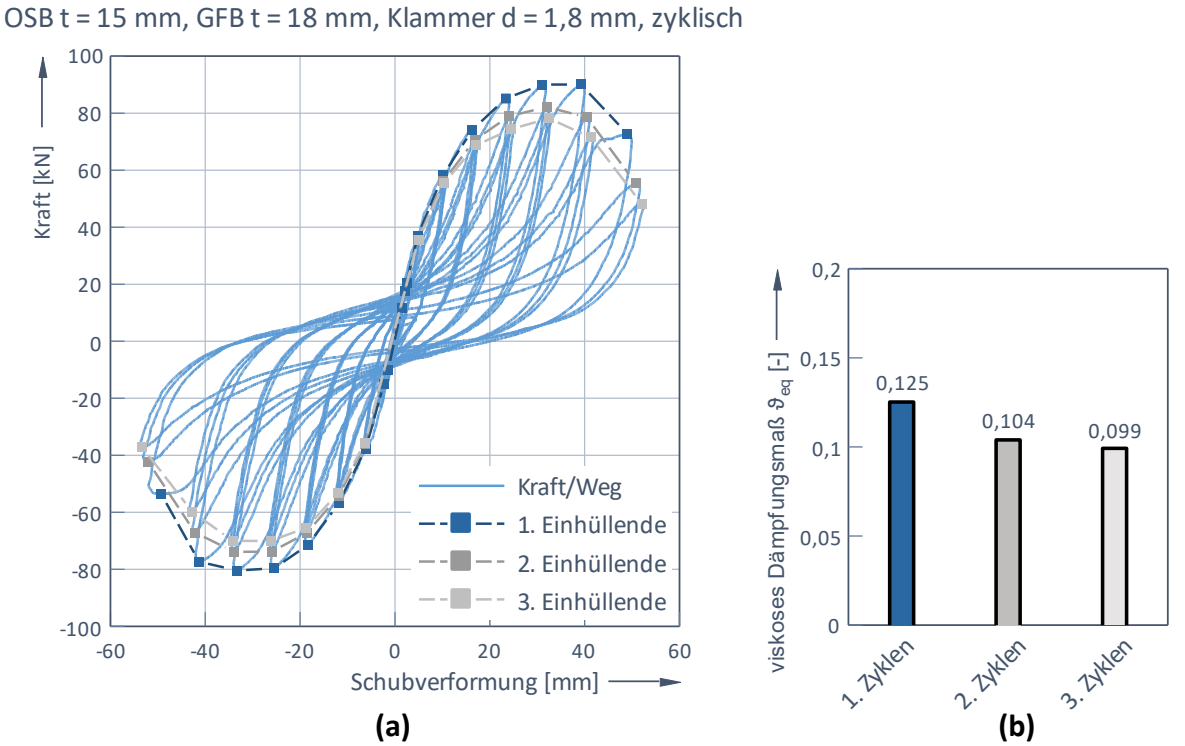


Abbildung B-249: Einhüllende (a) und Vergleich des mittleren viskosen Dämpfungsmaßes in den ersten bis dritten Gesamtzyklen der 3er-Zyklen-Kollektive (b); WT 06_c_1

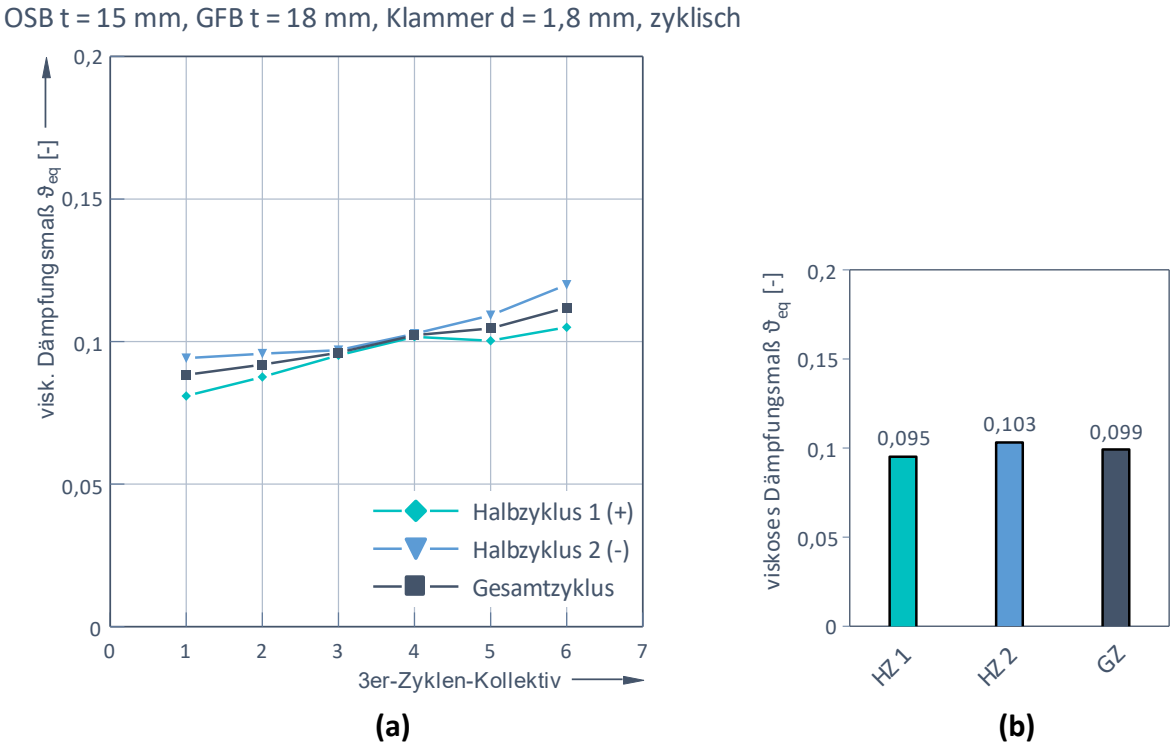


Abbildung B-250: Vergleich des viskosen Dämpfungsmaßes als Einzelwerte (a) und Mittelwerte (b) der dritten Zyklen der 3er-Zyklen-Kollektive; WT 06_c_1

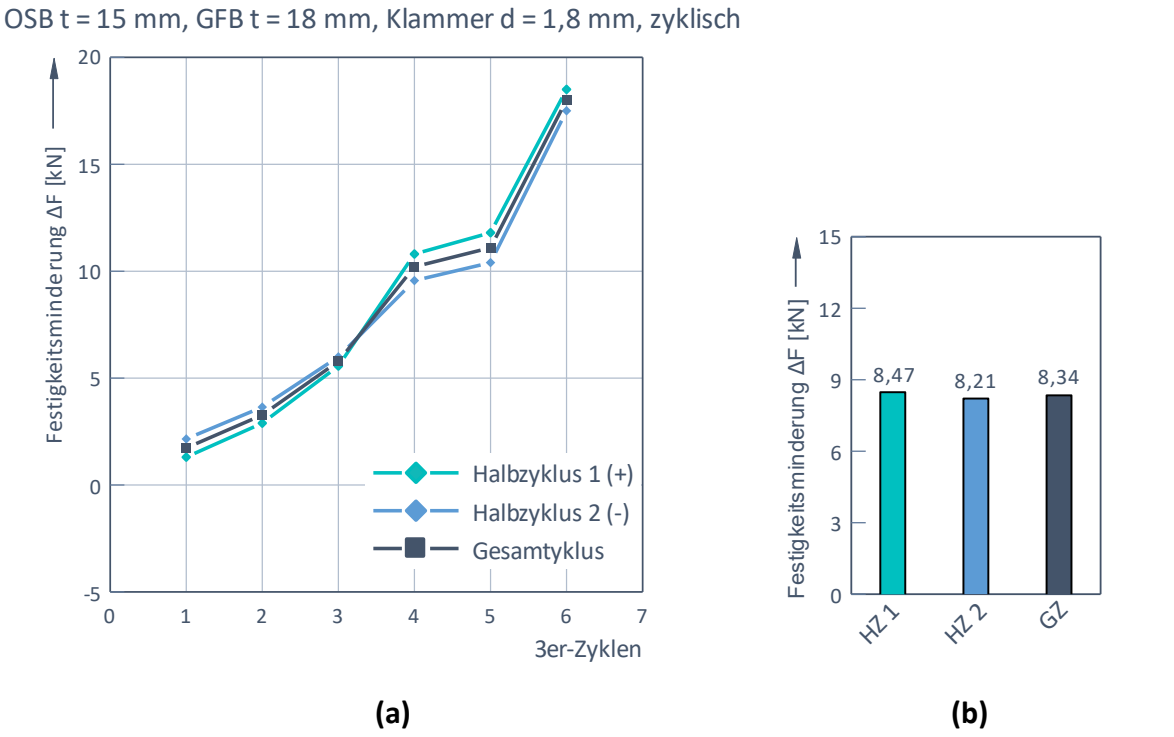


Abbildung B-251: Vergleich der Festigkeitsminderung der 3er-Zyklen-Kollektive als Einzelwerte je Zyklus (a) und als Mittelwerte je Halbzyklus (b); WT 06_c_1

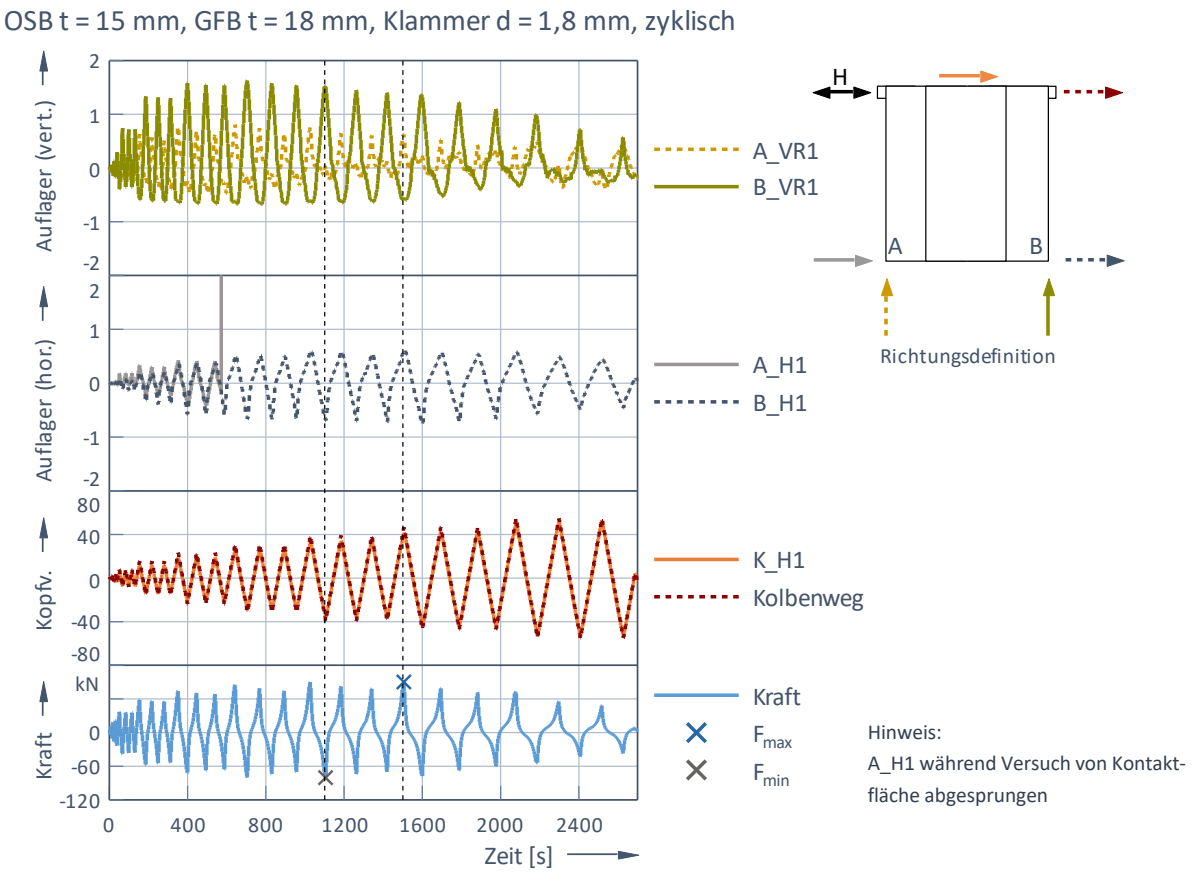


Abbildung B-252: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 06_c_1

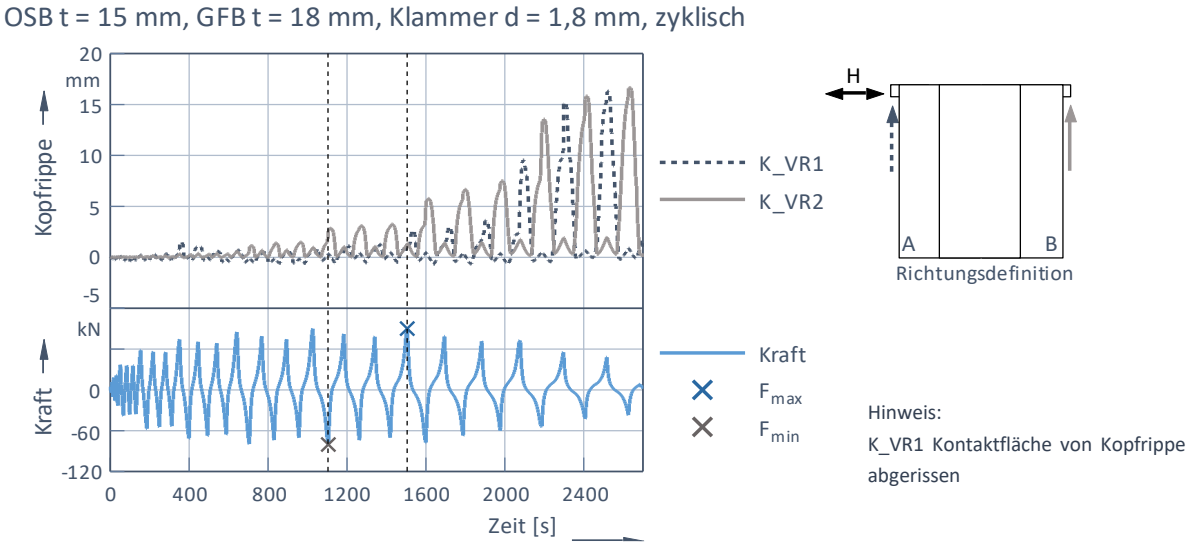


Abbildung B-253: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 06_c_1

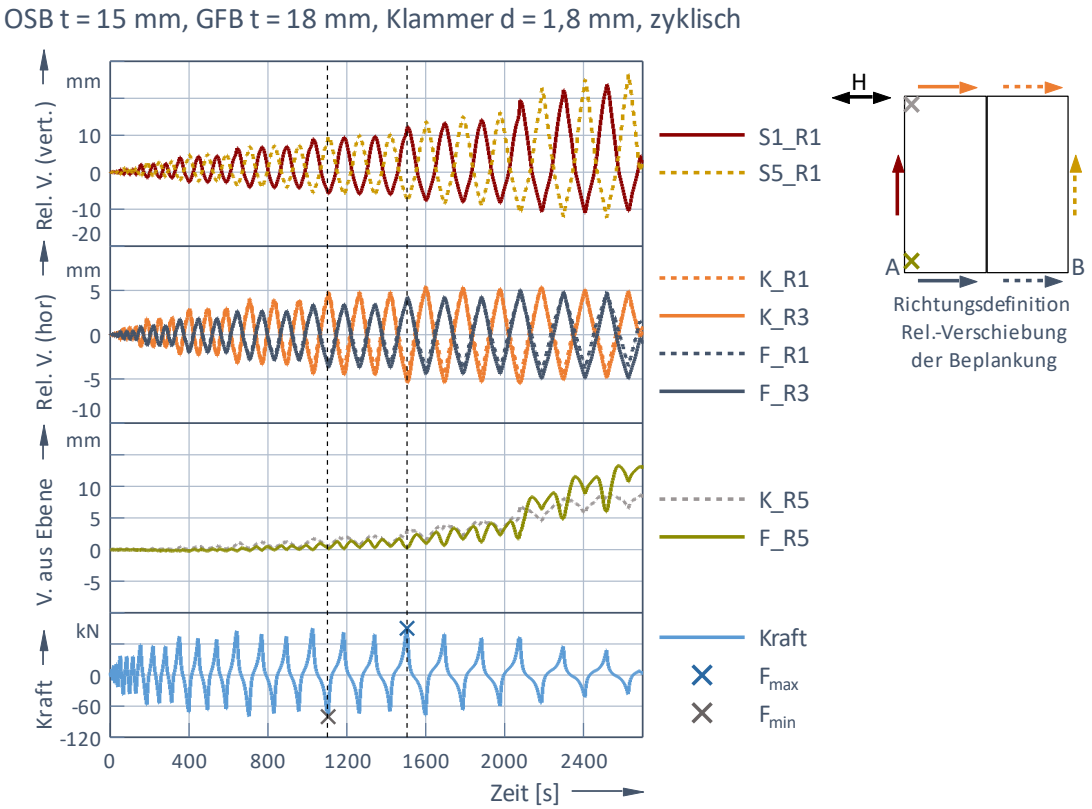


Abbildung B-254: Wegmessungen an Beplankung; WT 06_c_1

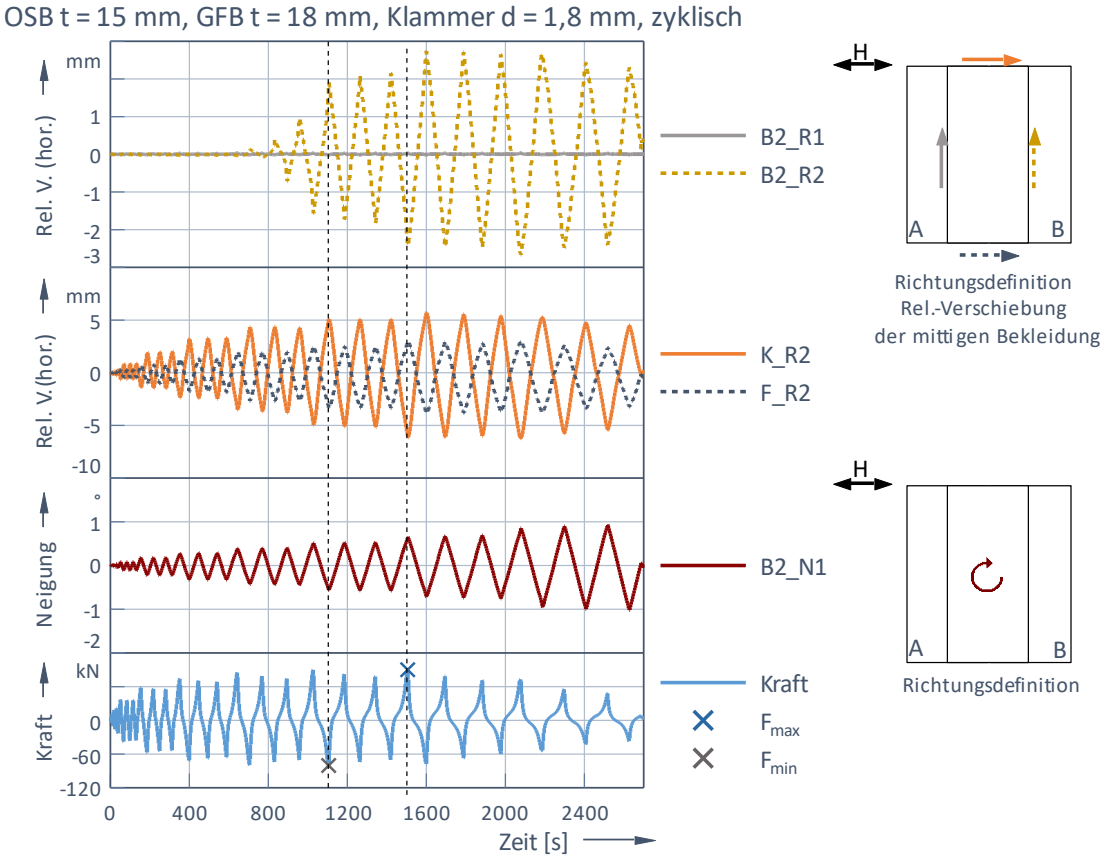


Abbildung B-255: Wegmessungen an Bekleidung; WT 06_c_1

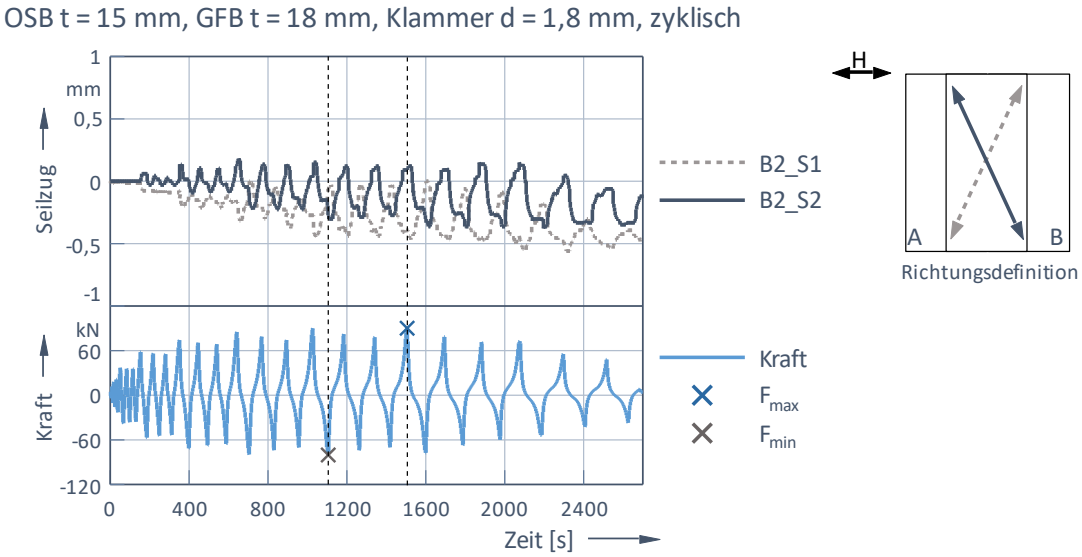


Abbildung B-256: Diagonale Wegmessungen an Bekleidung; WT 06_c_1

B.21 Wandtafel 07_c_1

Tabelle B-21: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 07_c_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm, KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	OSB/3, t = 15 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 75 mm, a_v = 75 mm	

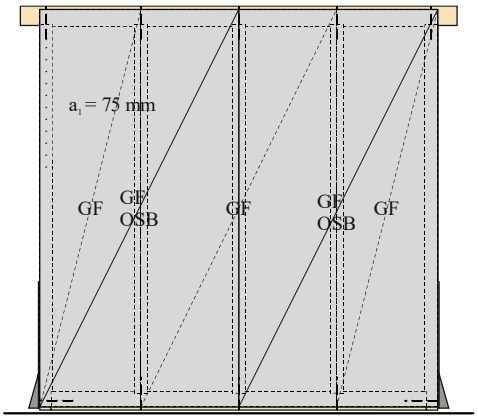


Abbildung B-257: Wandtafel 07_c_1

Untersuchung		
Datum	13.07.2023	
Raumtemperatur T	25,5 °C	
Raumfeuchte R_H	43 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 373 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 467 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 451 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 431 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	13,1 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Zyklisch
Belastung	1,0 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximal-/Minimalkraft	110 kN / -102 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

Während Versuch:

- Nach Erreichen der Maximalkraft werden vermehrt Klammern von Bekleidung 1 aus Rahmen gezogen
- Fugenöffnung und -schließung an Platten und Rahmen durch Klammerverformung
- Leichte Bewegung seitliche Halterung und leichte Biegung Auflagerprofil

Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)

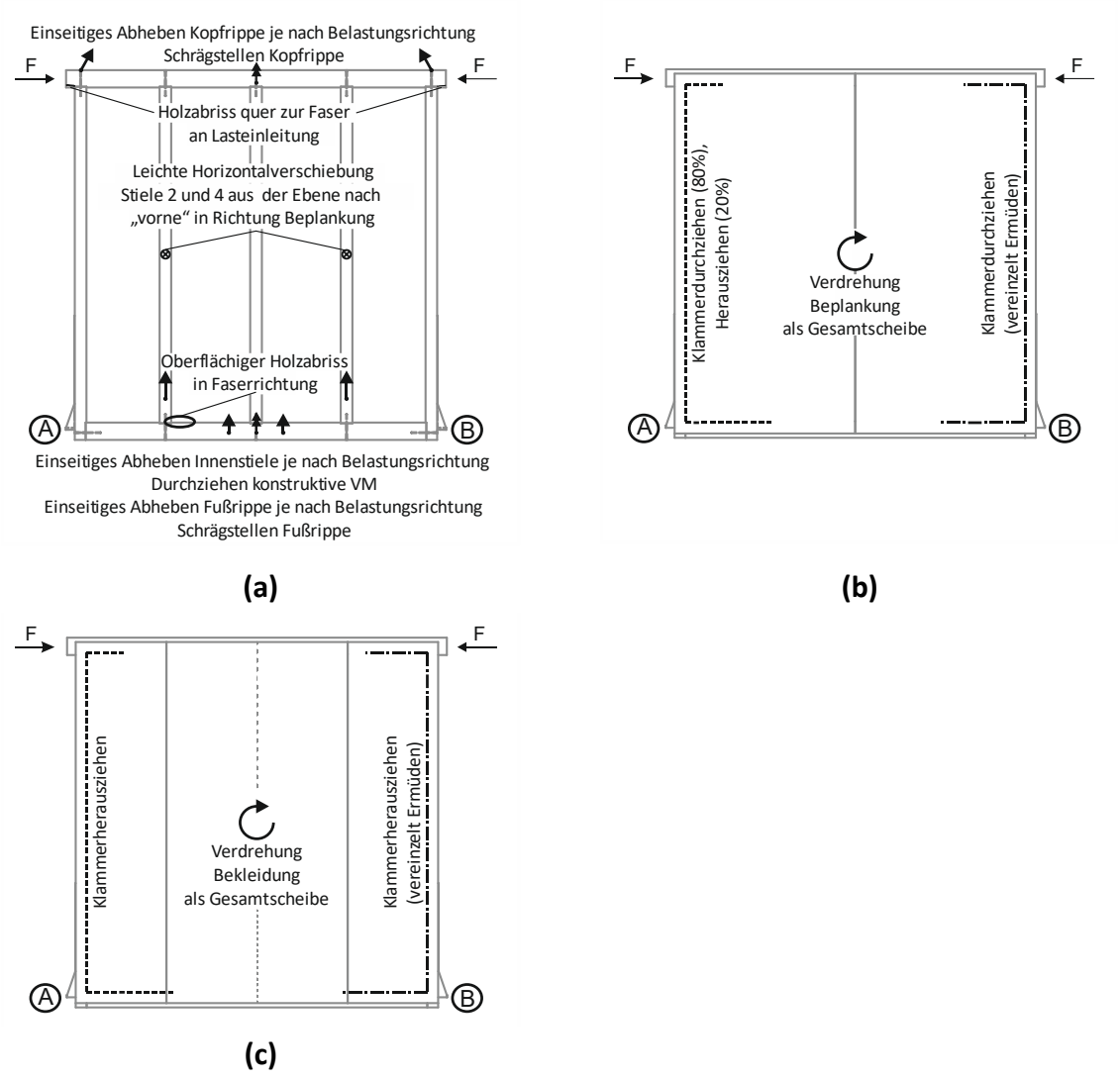
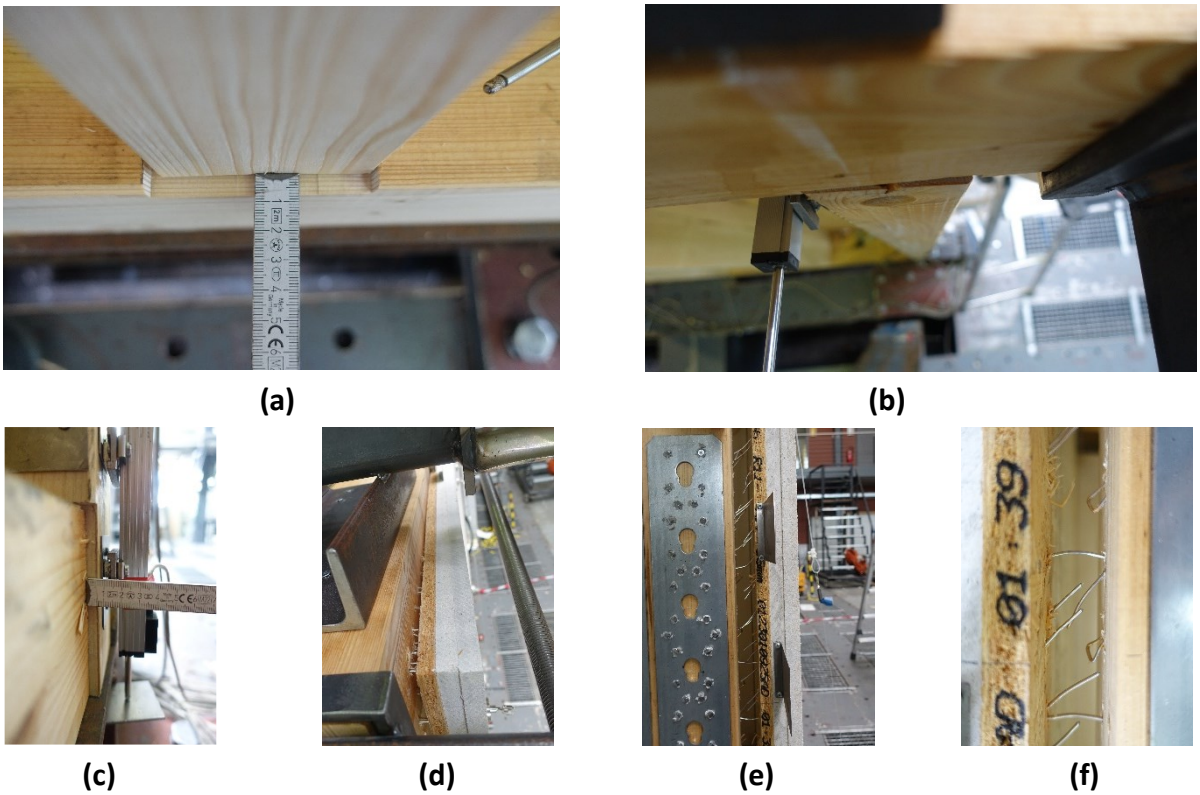


Abbildung B-258: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidungen 1+2 (c); WT 07_c_1



(a) **(b)** **(c)**

Abbildung B-259: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 07_c_1



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

Abbildung B-260: Horizontalverschiebung Stiel 2 (a), Schrägstellung Kopfrippe (b), Schrägstellung Fußrippe (c), Klammerdurchziehen Beplankung sowie Klammerherausziehen und -ermüden Bekleidung (d-f); WT 07_c_

Untersuchungsergebnisse

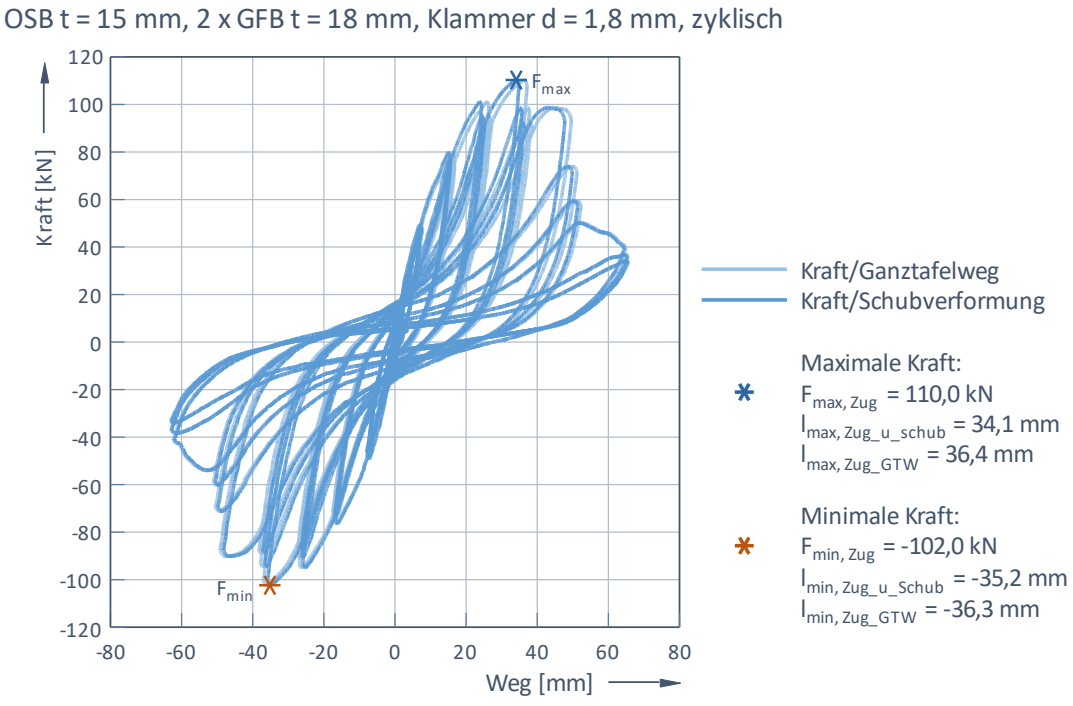


Abbildung B-261: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg und Schubverformung; WT 07_c_1

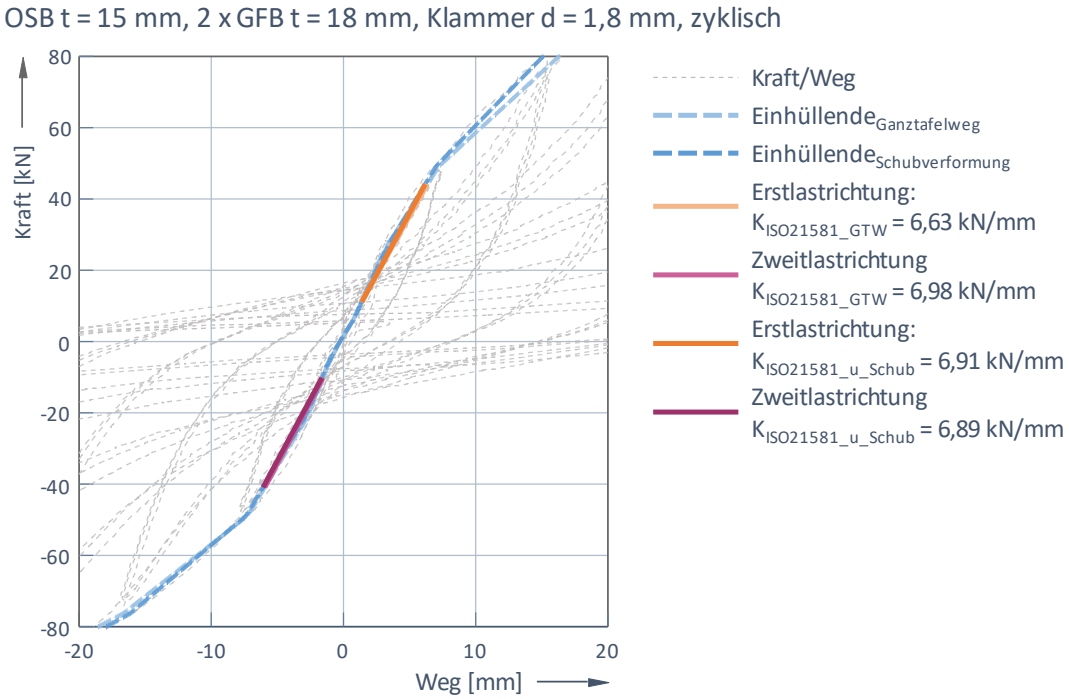


Abbildung B-262: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 07_c_1

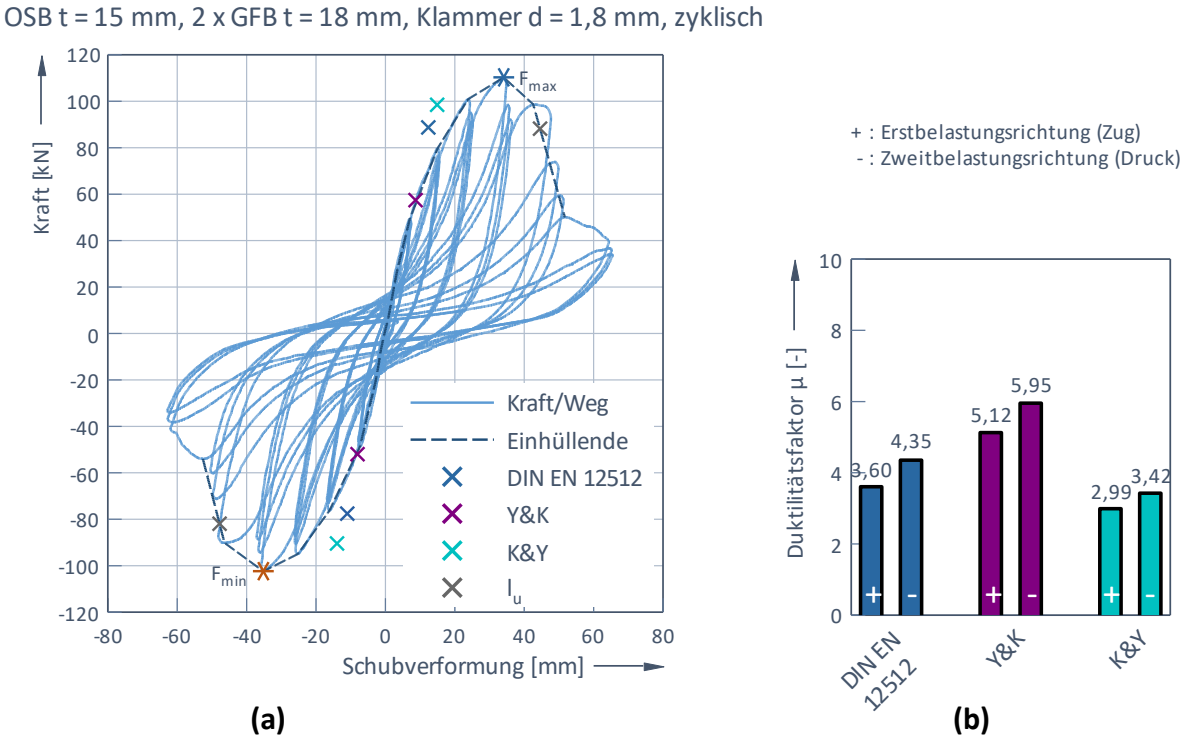


Abbildung B-263: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 07_c_1

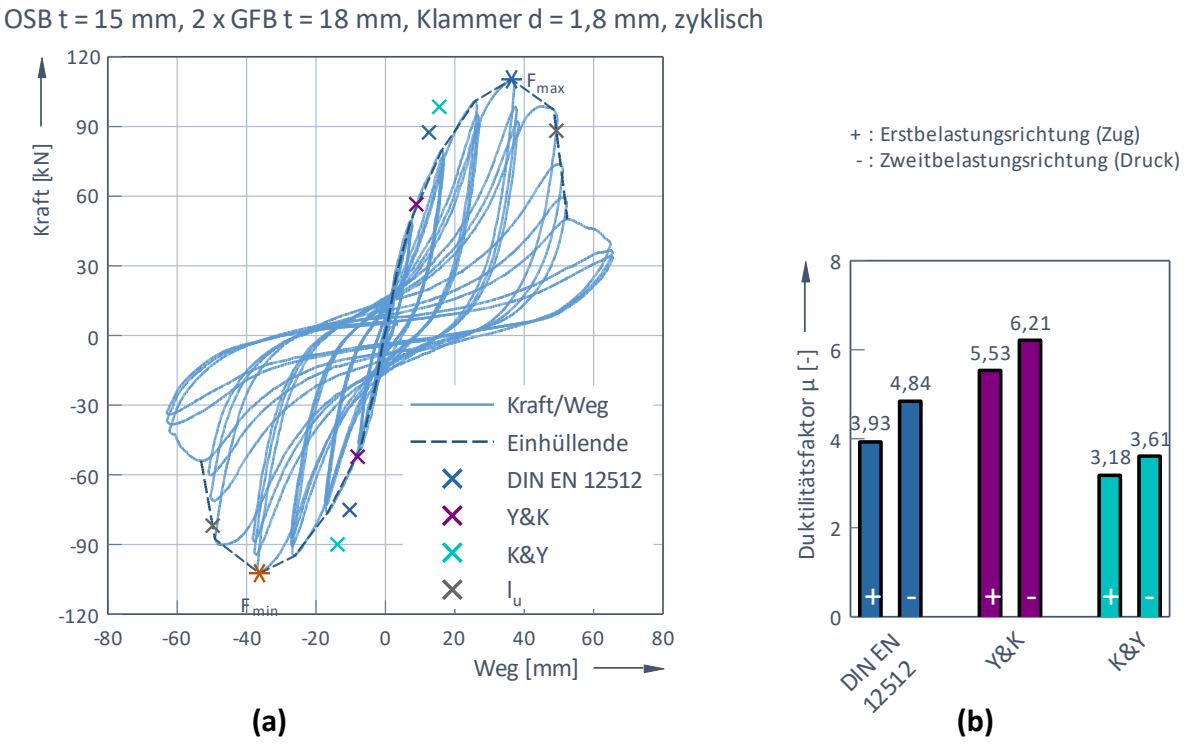


Abbildung B-264: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 07_c_1

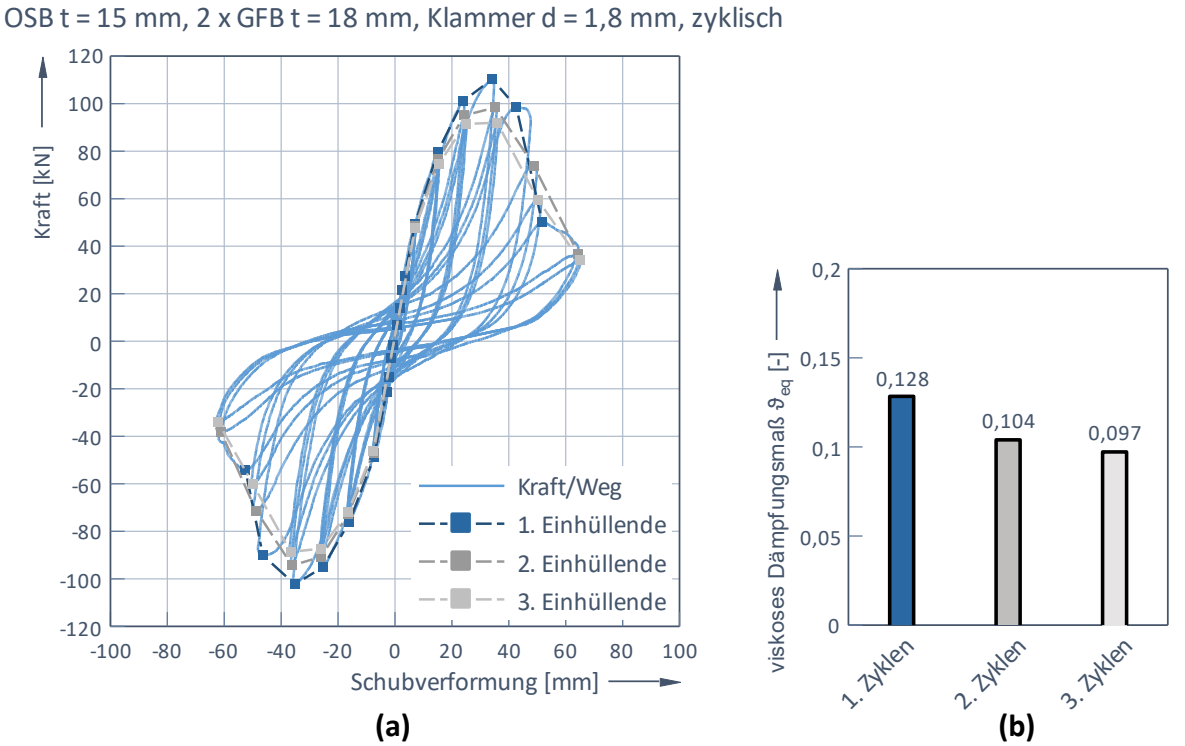


Abbildung B-265: Einhüllende (a) und Vergleich des mittleren viskosen Dämpfungsmaßes in den ersten bis dritten Gesamtzyklen der 3er-Zyklen-Kollektive (b); WT 07_c_1

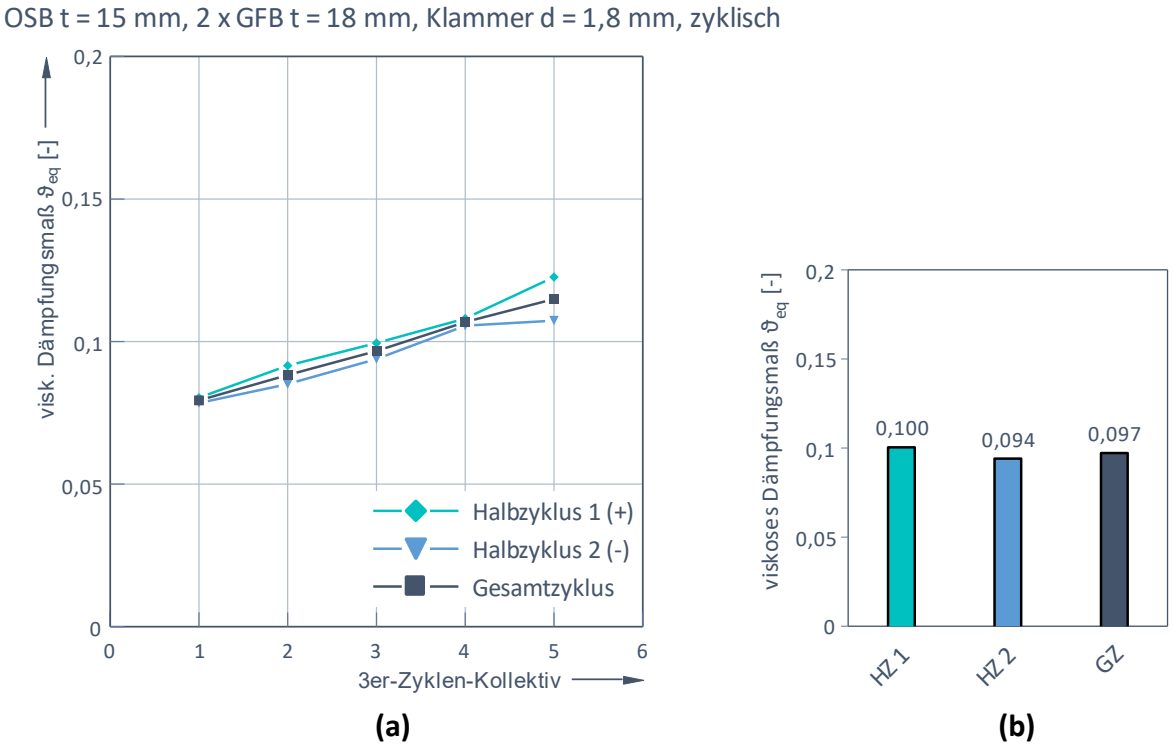


Abbildung B-266: Vergleich des viskosen Dämpfungsmaßes als Einzelwerte (a) und Mittelwerte (b) der dritten Zyklen der 3er-Zyklen-Kollektive; WT 07_c_1

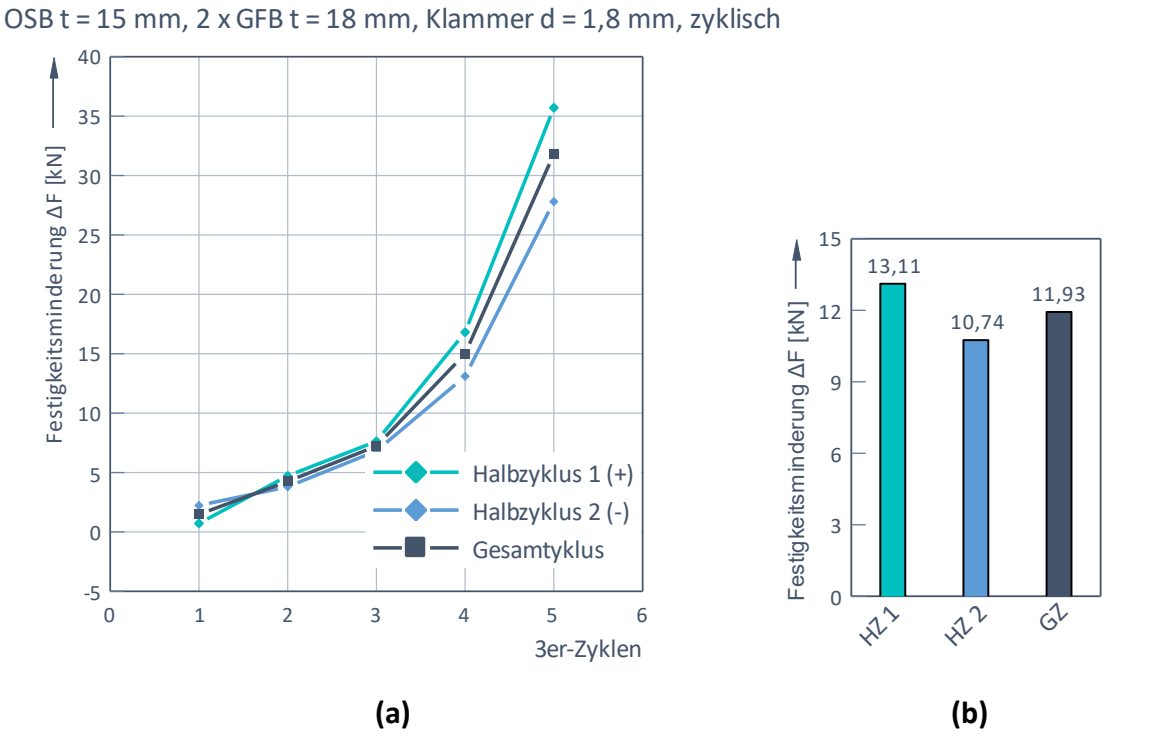


Abbildung B-267: Vergleich der Festigkeitsminderung der 3er-Zyklen-Kollektive als Einzelwerte je Zyklus (a) und als Mittelwerte je Halbzyklus (b); WT 07_c_1

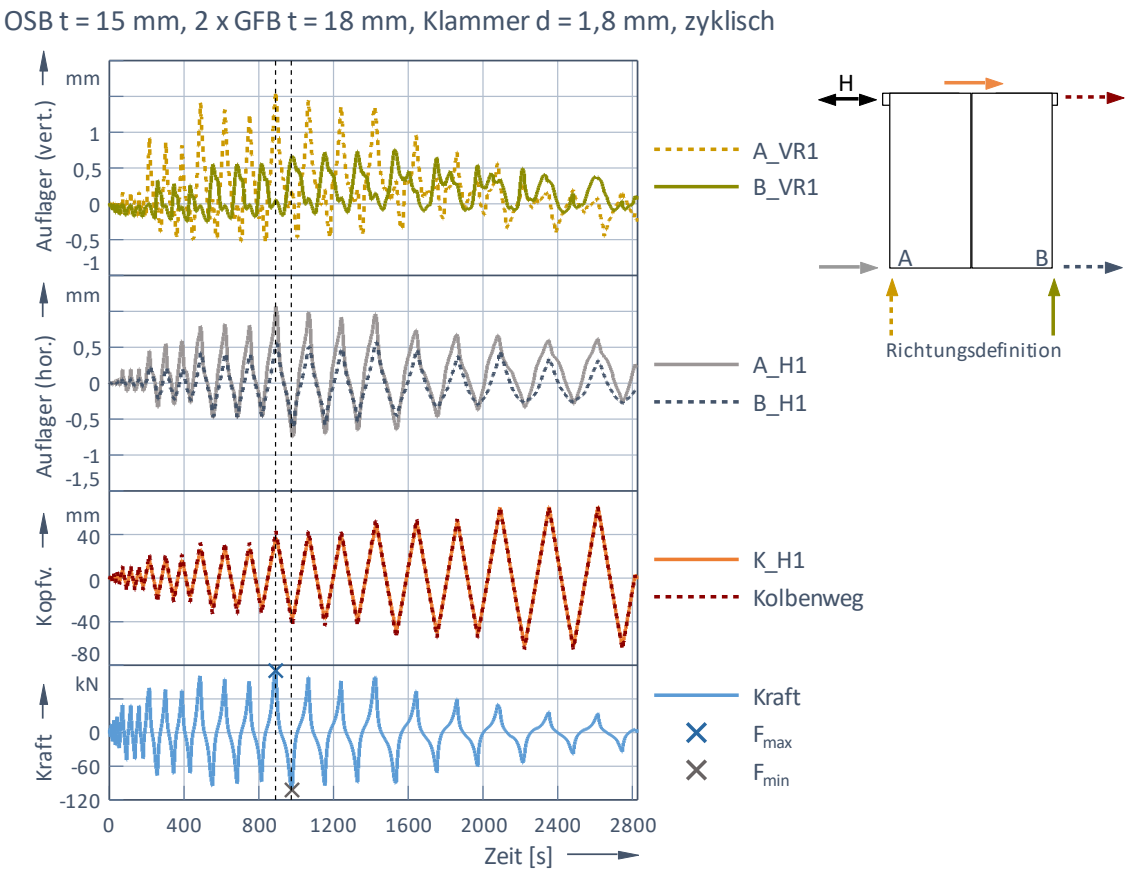


Abbildung B-268: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 07_c_1

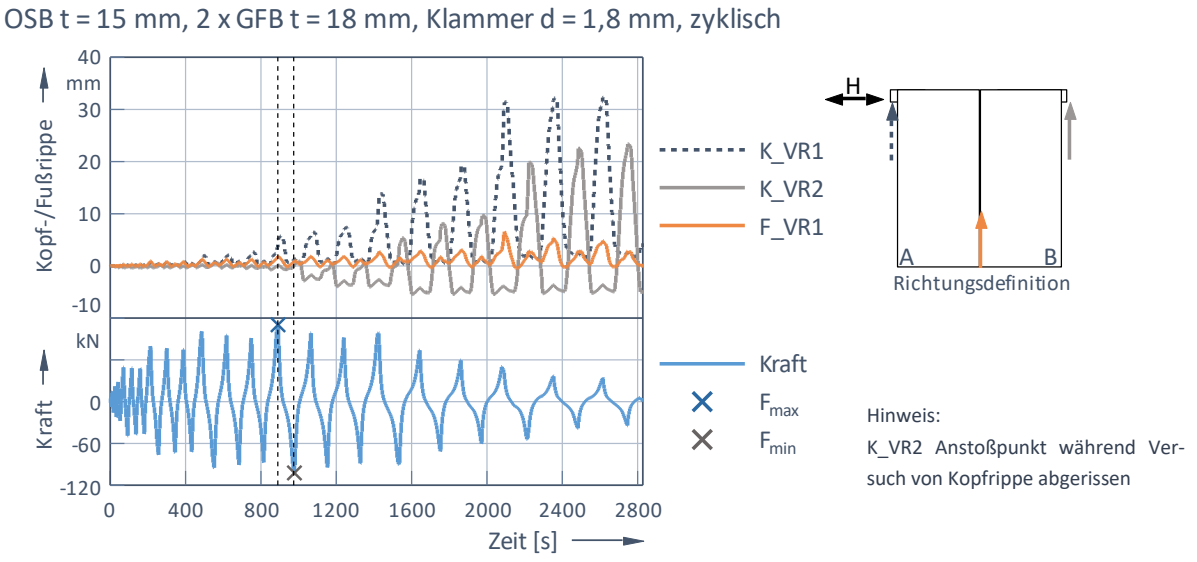


Abbildung B-269: Wegmessungen an Kopf- und Fußrippe; WT 07_c_1

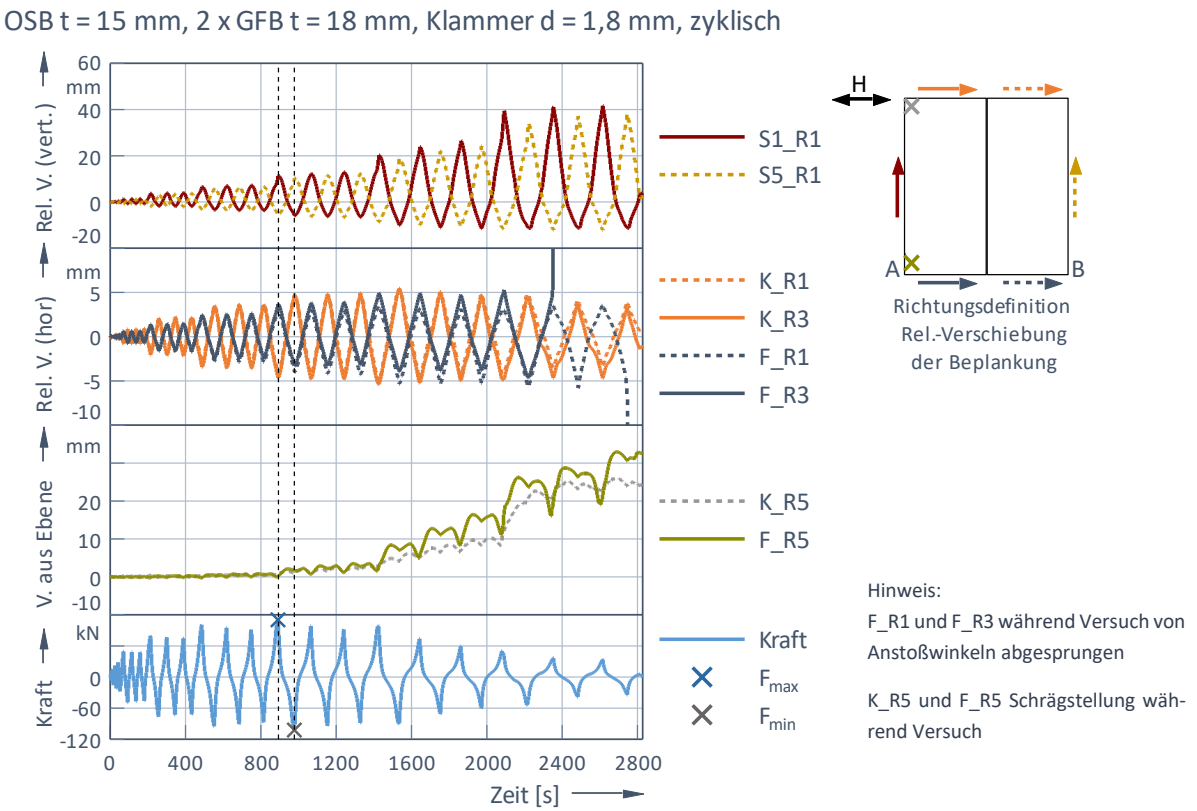


Abbildung B-270: Wegmessungen an Beplankung; WT 07_c_1

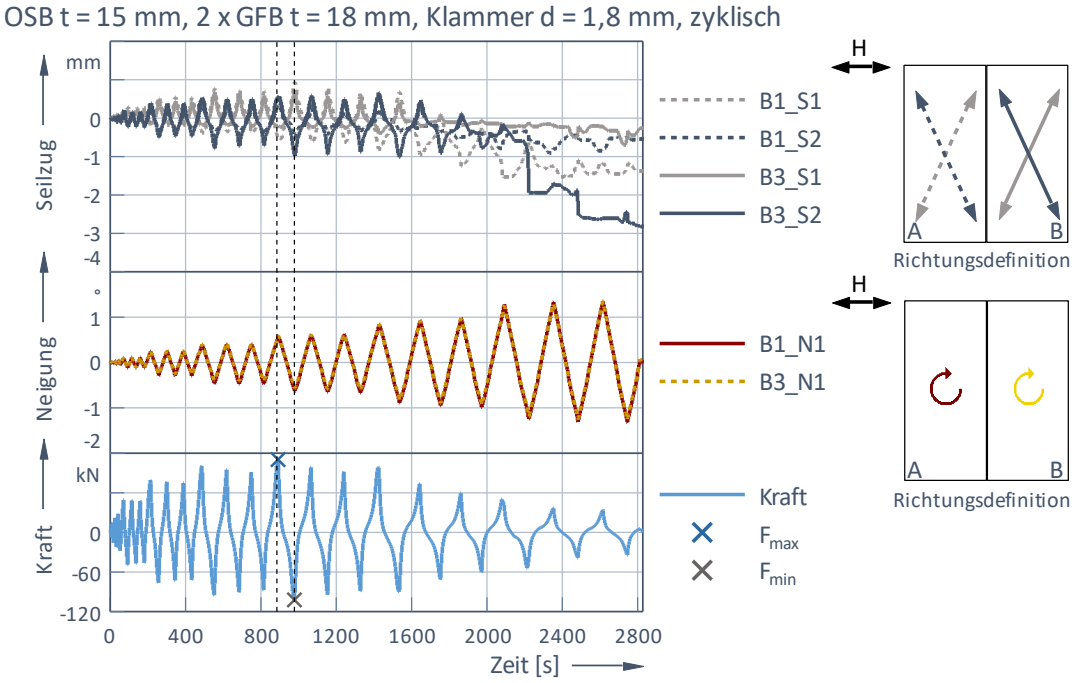


Abbildung B-271: Weg- und Neigungsmessungen an Bekleidung; WT 07_c_1

B.22 Wandtafel 08_c_1

Tabelle B-22: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 08_c_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm, KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	GFB, t = 12,5 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 12,5 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	Keine	

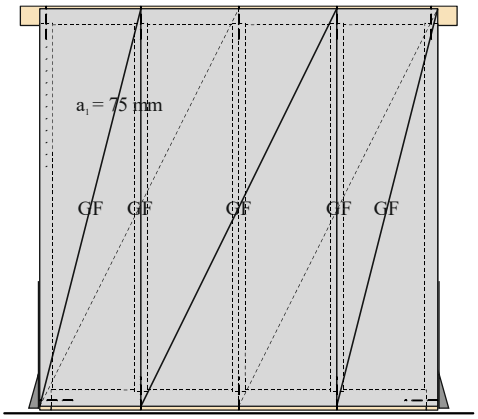


Abbildung B-272: Wandtafel 08_c_1

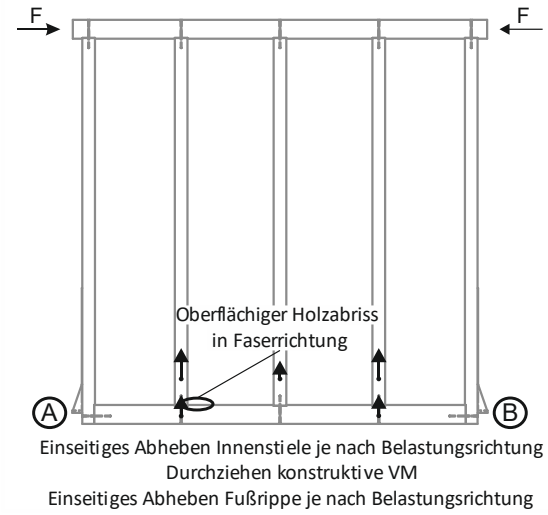
Untersuchung		
Datum	10.07.2023	
Raumtemperatur T	28,6 °C	
Raumfeuchte R_H	43 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 475 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 435 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 395 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 435 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	12,8 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Zyklisch
Belastung	1,0 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximal-/Minimalkraft	89,7 kN / -81,3 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

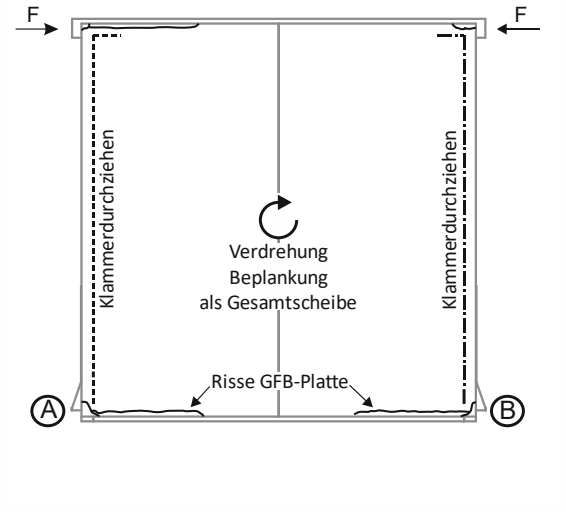
Während Versuch:

- Eckrissbildung in Beplankung 1 links unten vor Erreichen der maximalen Zugbelastung. Eckrissbildung in Bekleidung 1 zum Zeitpunkt der maximalen Zugtragfähigkeit.
- Rissbildung in Ecken links vor Rissbildung in Ecken rechts
- Deutliches „Durchknacken“ entlang Stiel 1 von oben in Richtung Wandtafelmitte in erstem Zugzyklus 1,2·l_u, anschließend auch an Stiel 5 in erstem Druckzyklus 1,2·l_u

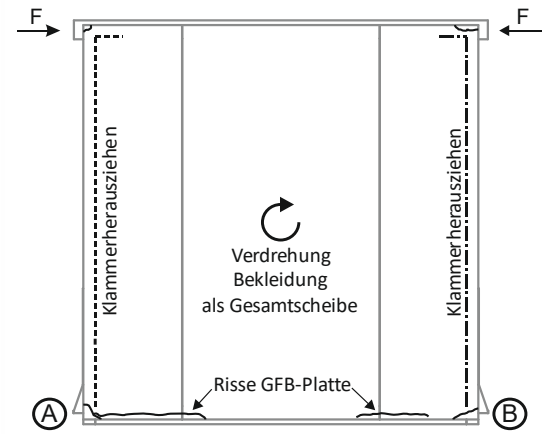
Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



(a)

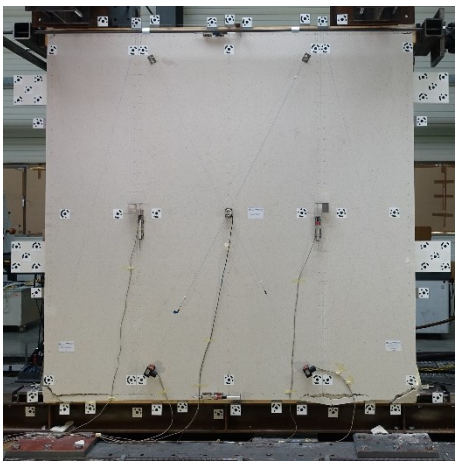


(b)

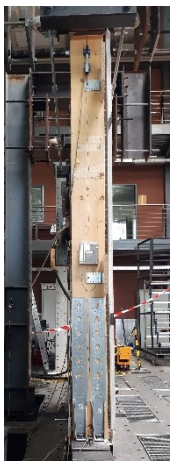


(c)

Abbildung B-273: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung (c); WT 08_c_1



(a)



(b)



(c)

Abbildung B-274: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 08_c_1

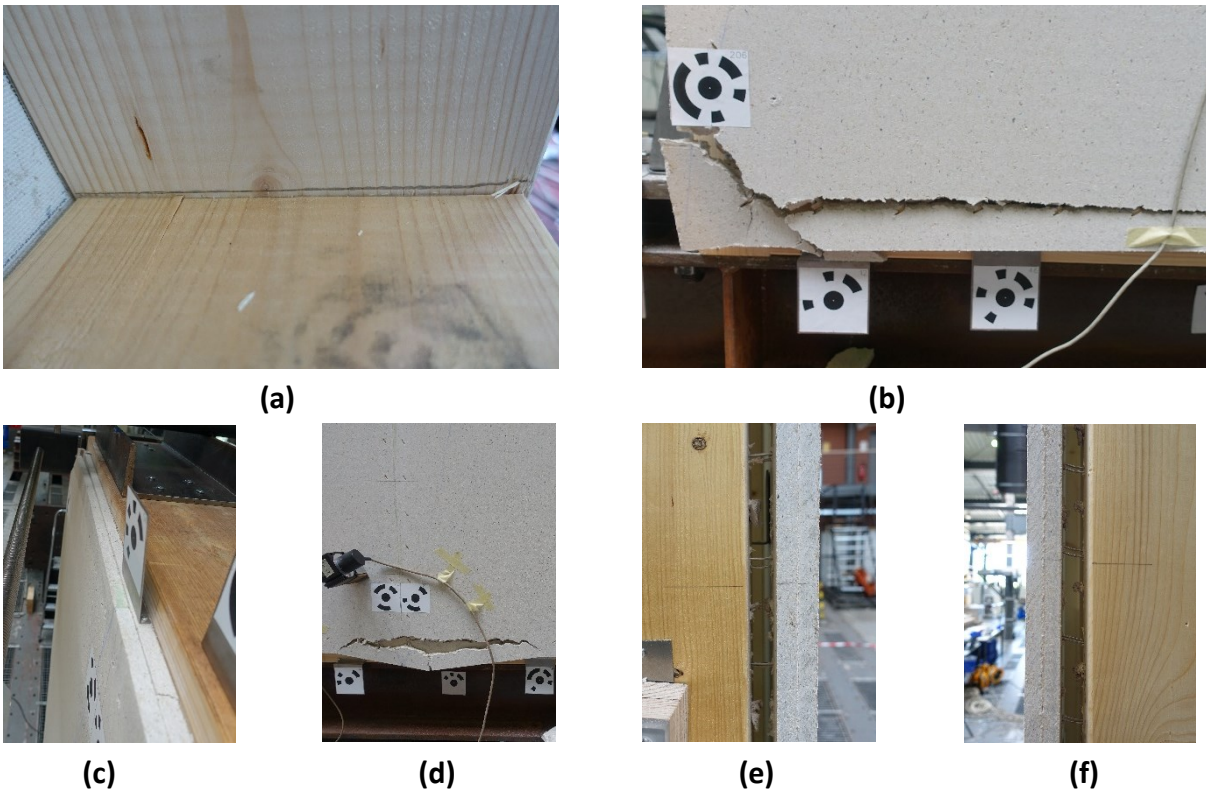


Abbildung B-275: Abheben Stiel 2 von Fußrippe (a), Rissbildung GFB-Beplankung und GFB-Bekleidung (b-d), Klammerdurchziehen Beplankung und Klammerherausziehen Bekleidung (e-f); WT 08_c_1

Untersuchungsergebnisse

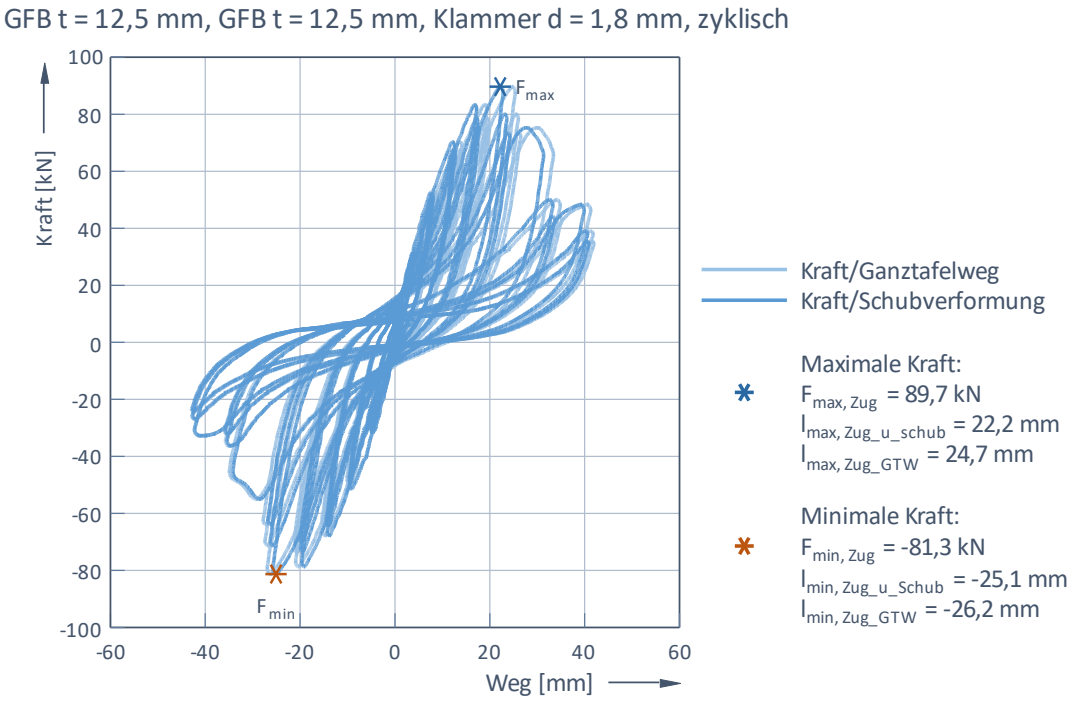


Abbildung B-276: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg und Schubverformung; WT 08_c_1

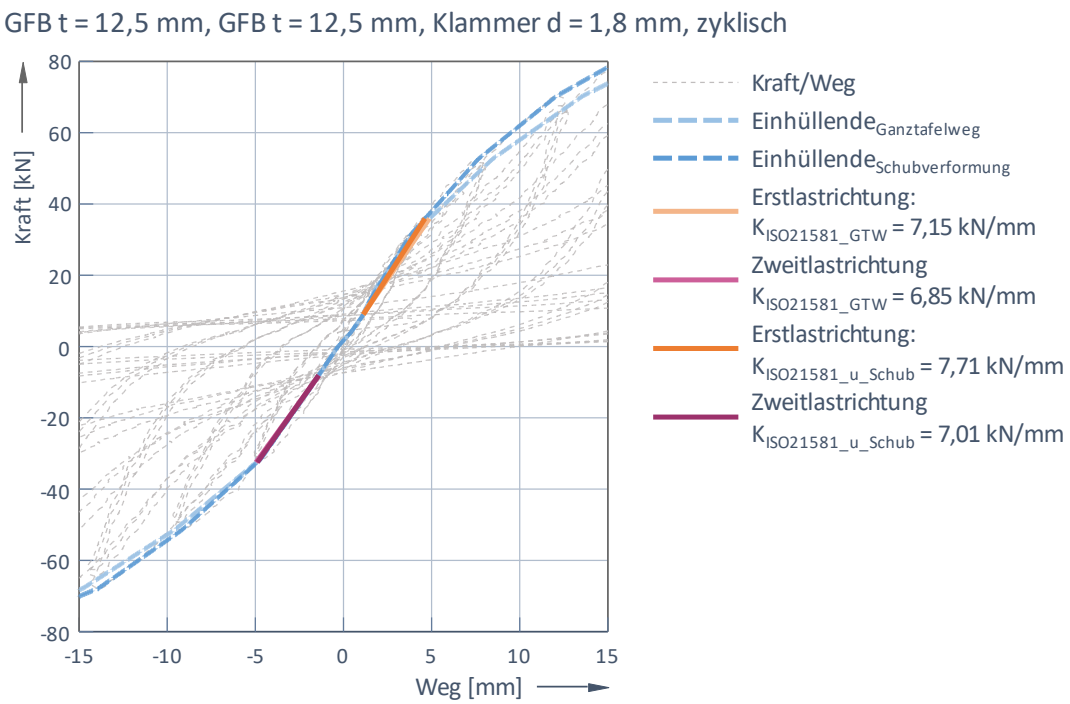


Abbildung B-277: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 08_c_1

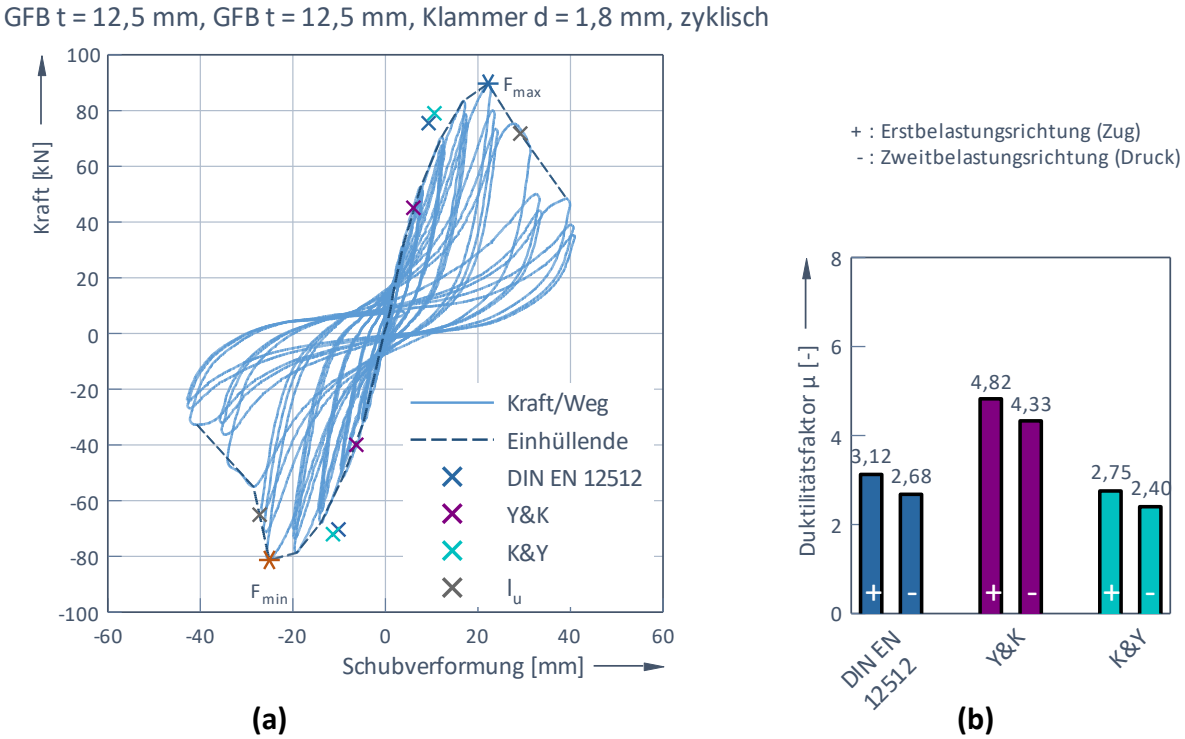


Abbildung B-278: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 08_c_1

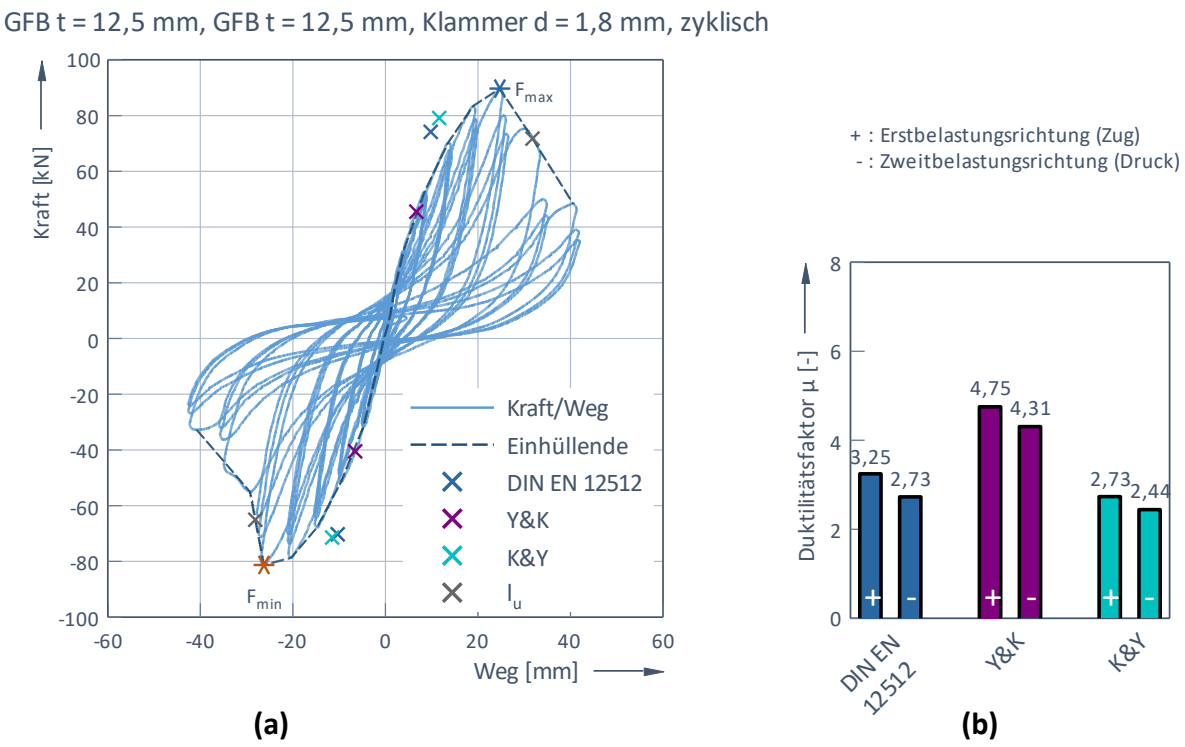


Abbildung B-279: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 08_c_1

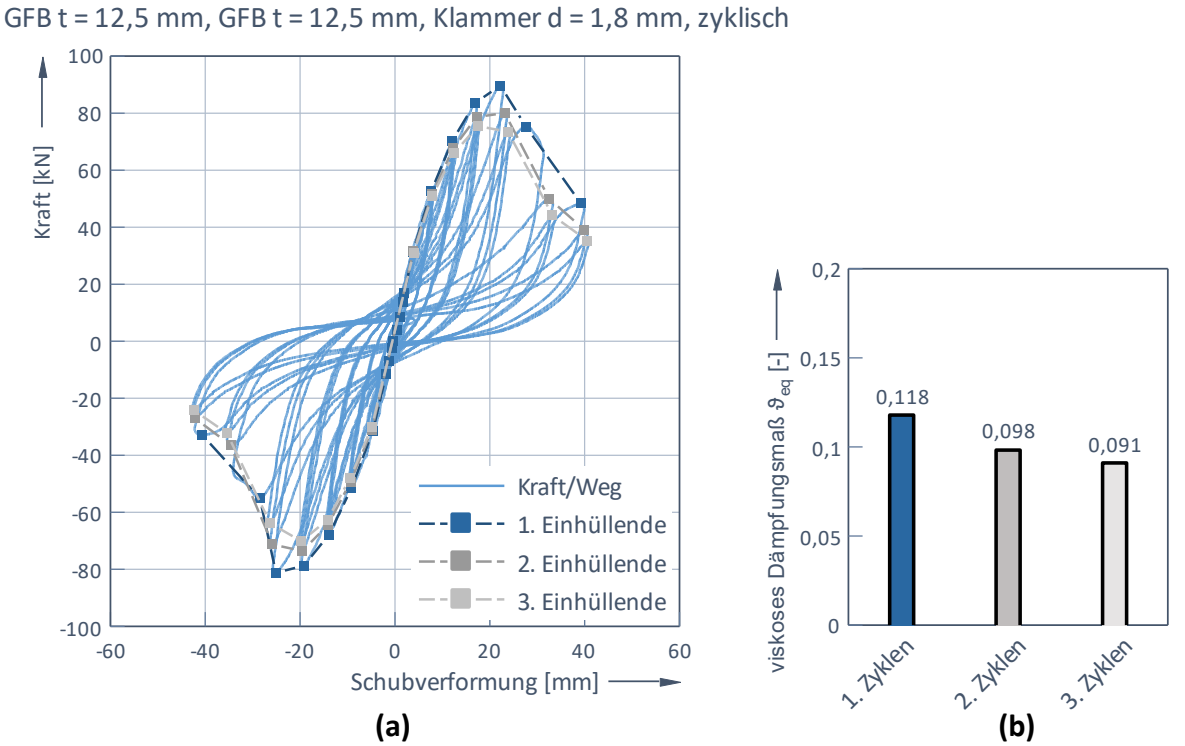


Abbildung B-280: Einhüllende (a) und Vergleich des mittleren viskosen Dämpfungsmaßes in den ersten bis dritten Gesamtzyklen der 3er-Zyklen-Kollektive (b); WT 08_c_1

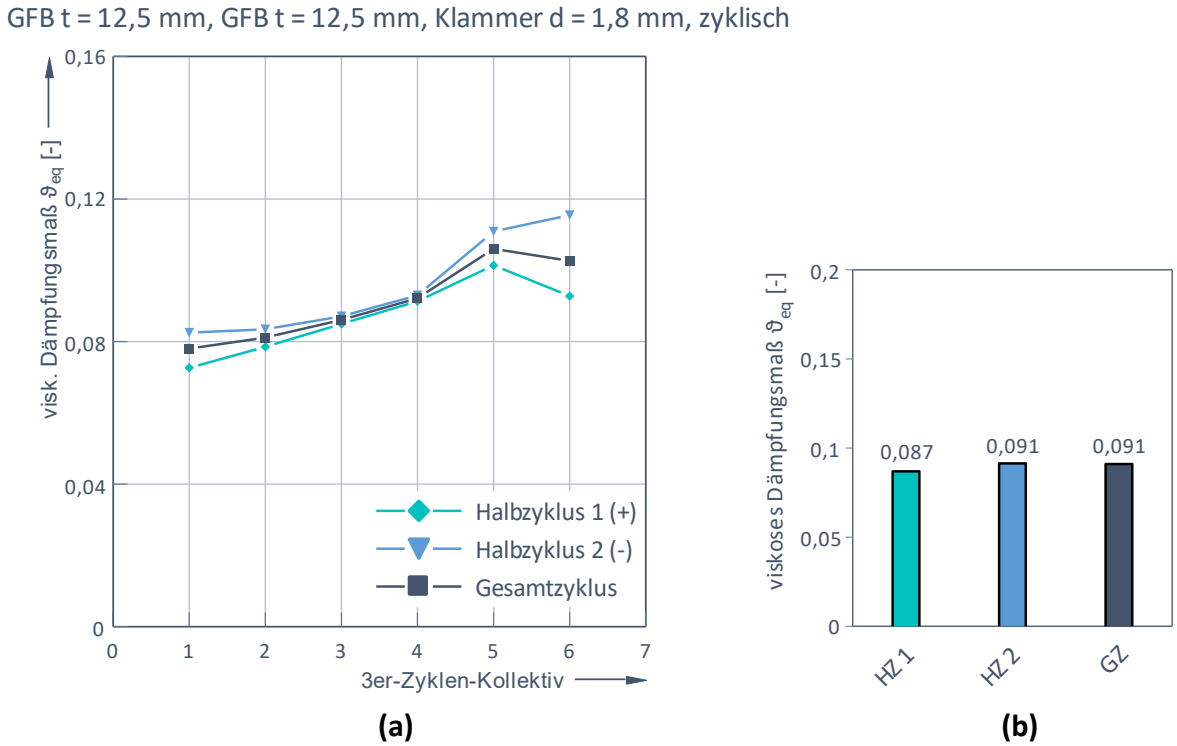


Abbildung B-281: Vergleich des viskosen Dämpfungsmaßes als Einzelwerte (a) und Mittelwerte (b) der dritten Zyklen der 3er-Zyklen-Kollektive; WT 08_c_1

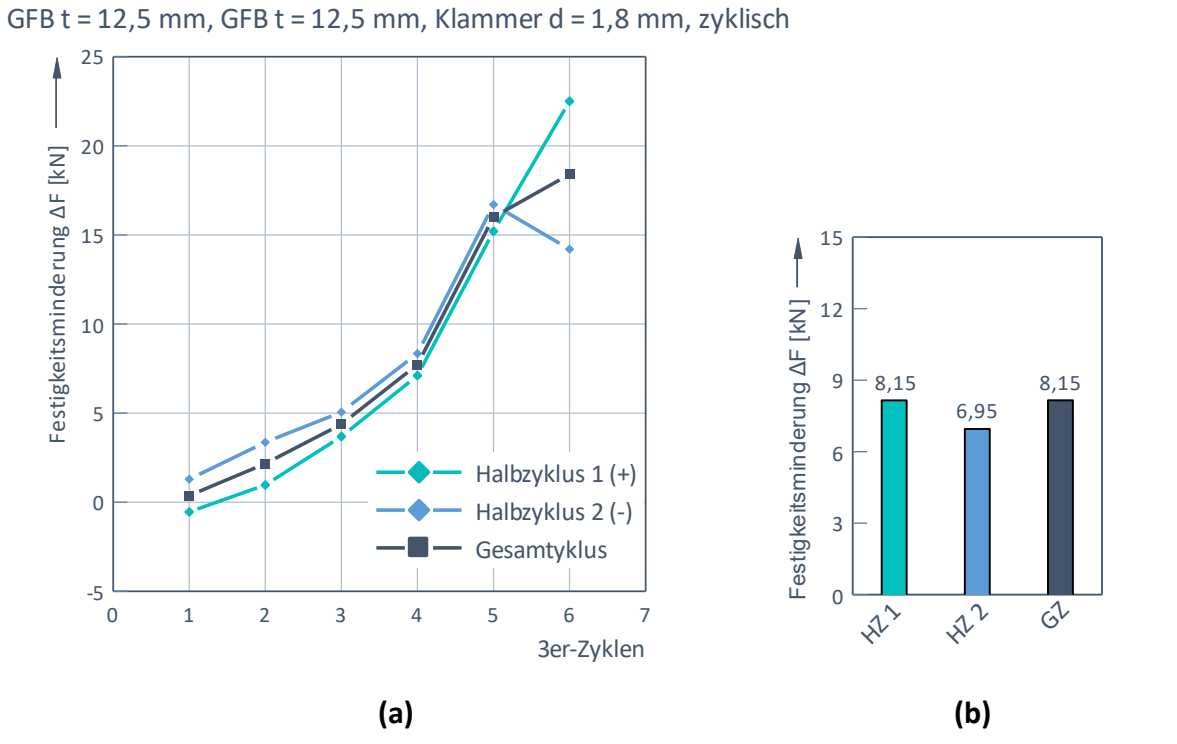


Abbildung B-282: Vergleich der Festigkeitsminderung der 3er-Zyklen-Kollektive als Einzelwerte je Zyklus (a) und als Mittelwerte je Halbzyklus (b); WT 08_c_1

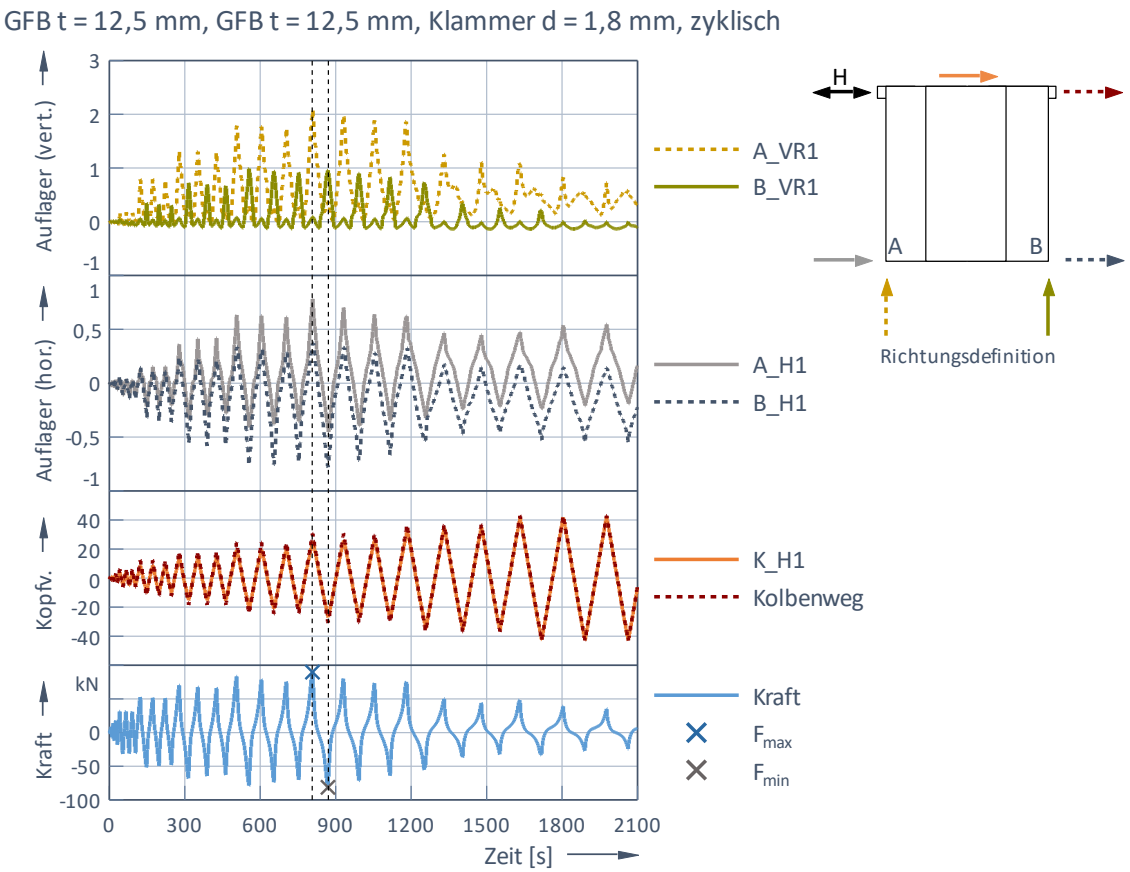


Abbildung B-283: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 08_c_1

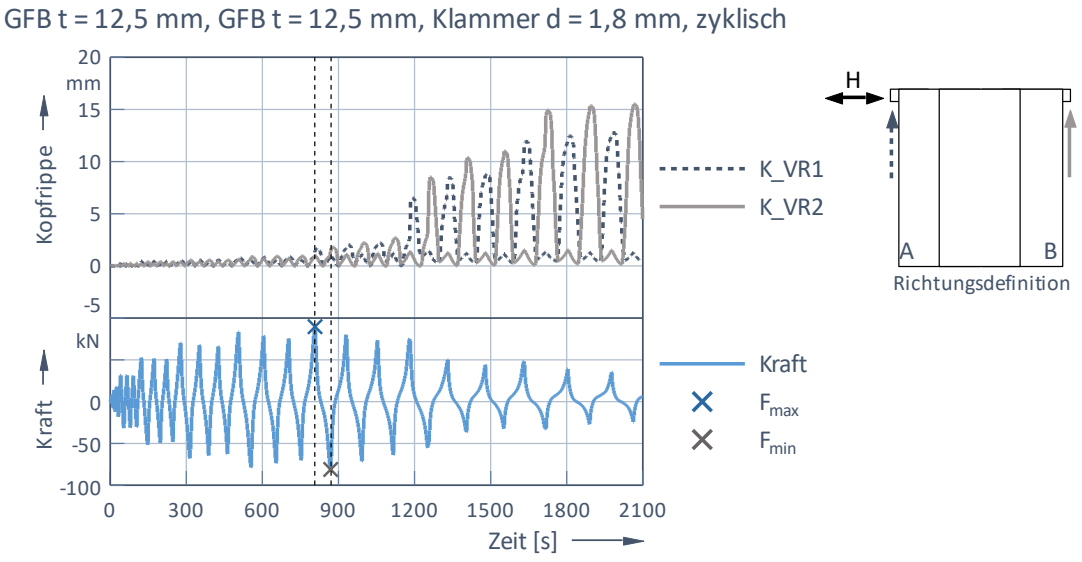


Abbildung B-284: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 08_c_1

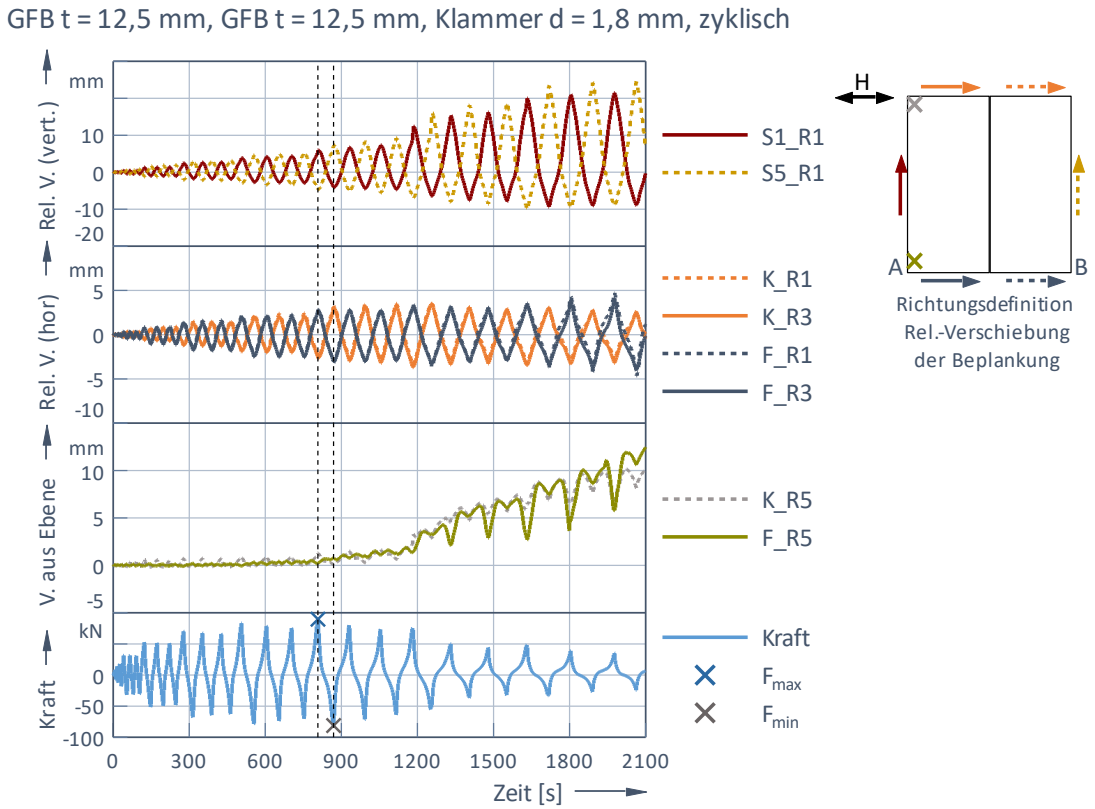


Abbildung B-285: Wegmessungen an Beplankung; WT 08_c_1

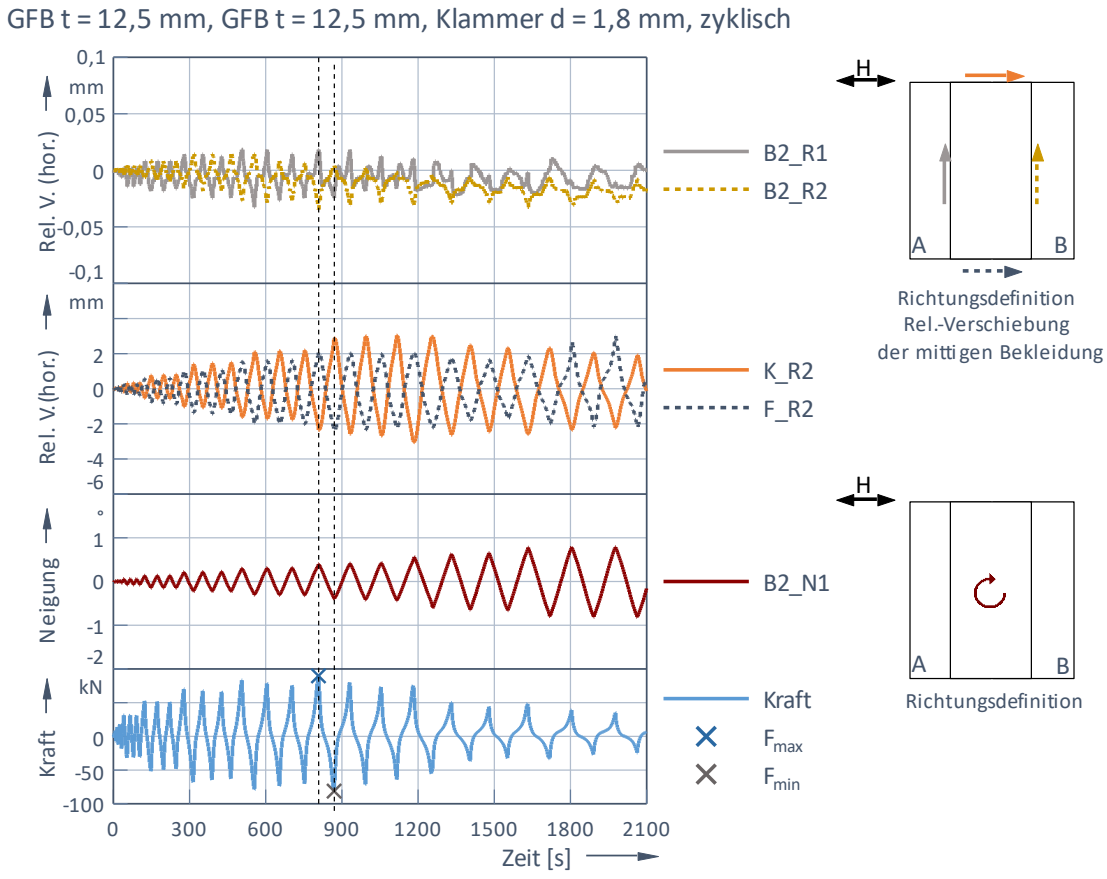


Abbildung B-286: Wegmessungen an Bekleidung; WT 08_c_1

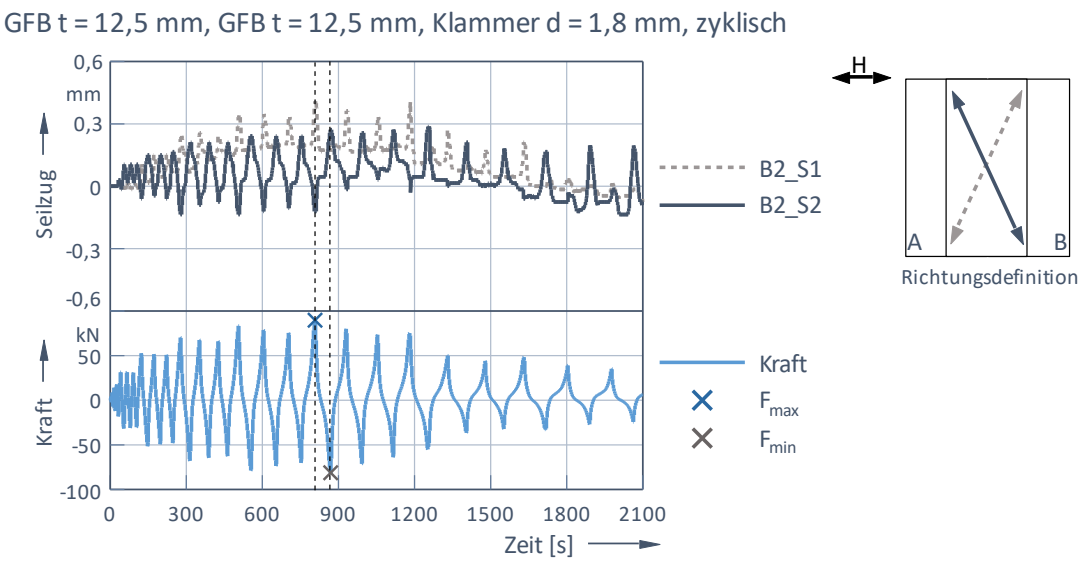


Abbildung B-287: Diagonale Wegmessungen an Bekleidung; WT 08_c_1

B.23 Wandtafel 09_c_1

Tabelle B-23: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 09_c_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm , KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	Keine	

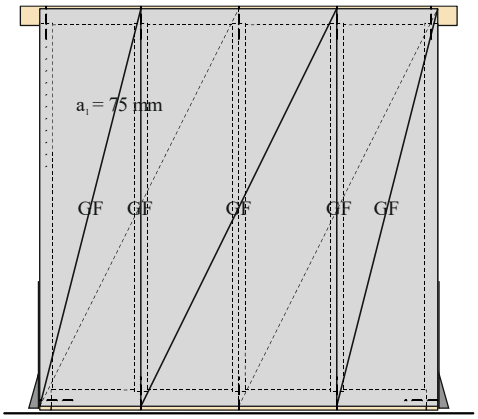


Abbildung B-288: Wandtafel 09_c_1

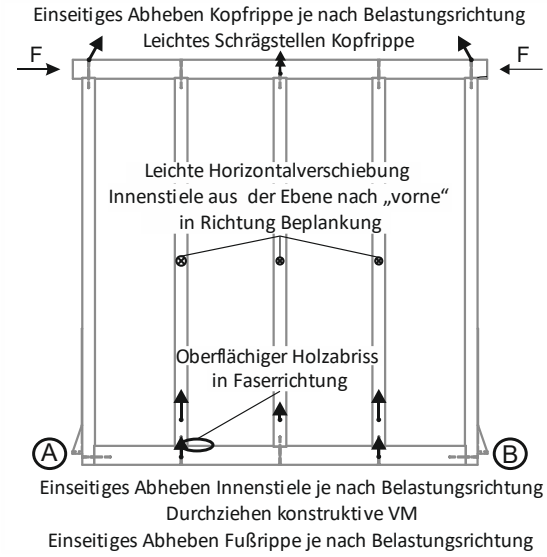
Untersuchung		
Datum	12.07.2023	
Raumtemperatur T	27,3 °C	
Raumfeuchte R_H	43 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 501 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 499 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 435 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 478 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	12,9 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Zyklisch
Belastung	1,0 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximal-/Minimalkraft	108 kN / -96,4 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

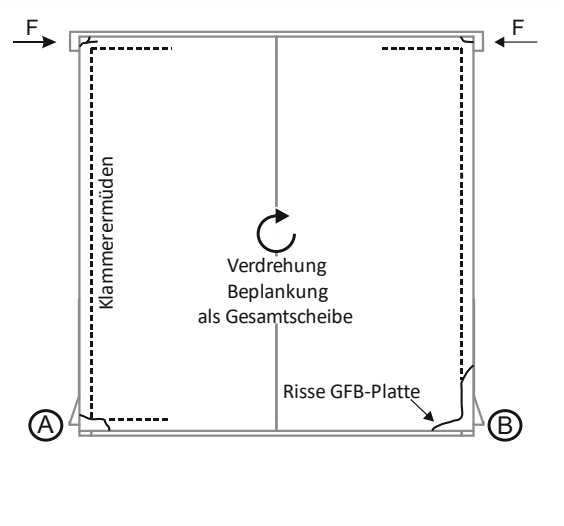
Während Versuch:

- Rissbildung zunächst in den Ecken der Beplankung: 1. Links unten (vor Versagen), 2. rechts unten (vor Versagen), 3. links oben
- Zuletzt Rissausbreitung in rechter unterer Ecke entlang Stiel 5 nach oben
- Deutlich erkennbares Klammerversagen bei ersten Zug- und Druckzyklen $1{,}2 \cdot l_u$
- Leichte Bewegung seitliche Halterung

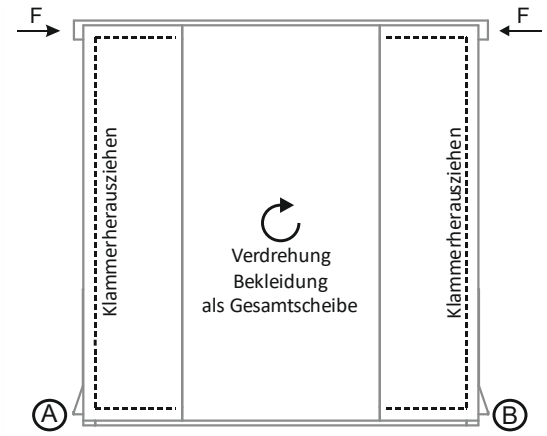
Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



(a)

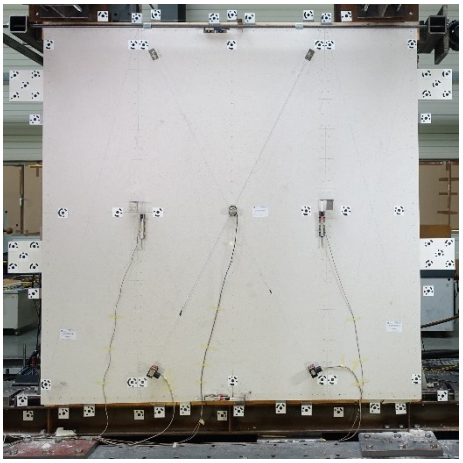


(b)



(c)

Abbildung B-289: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung (c); WT 09_c_1



(a)



(b)



(c)

Abbildung B-290: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 09_c_1

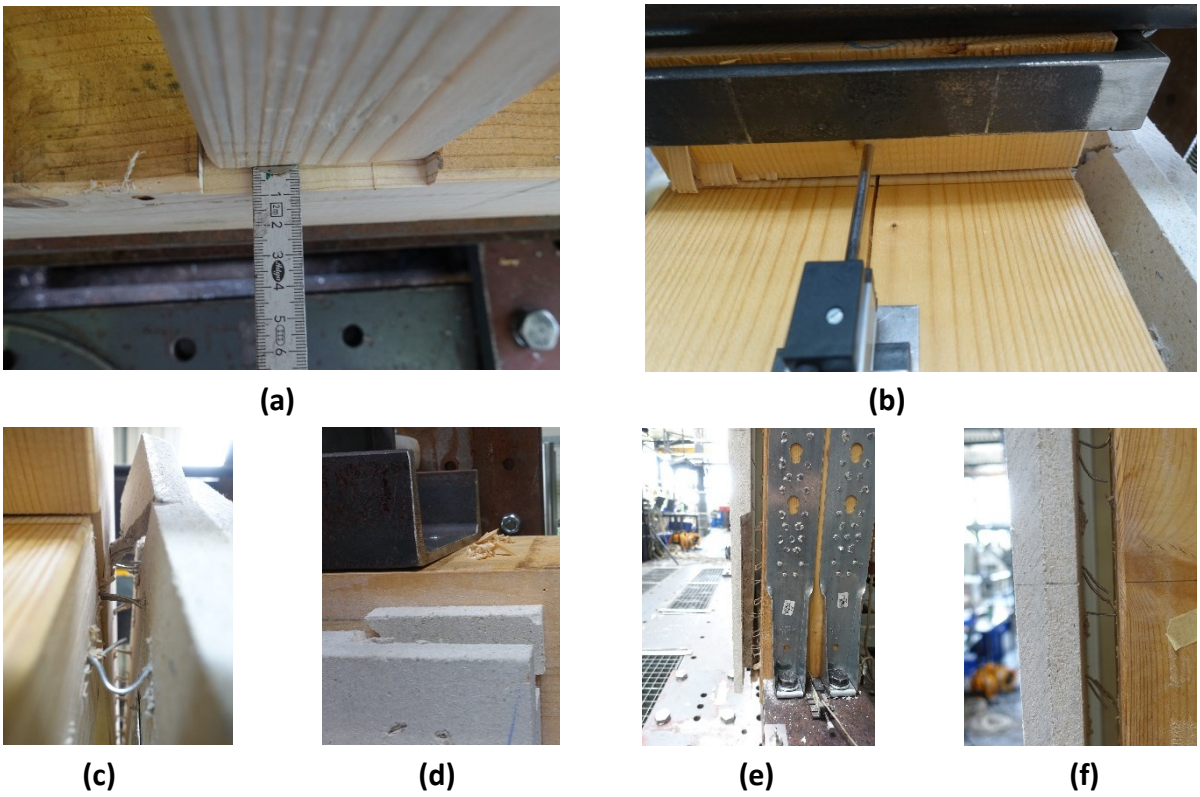


Abbildung B-291: Horizontalverschiebung Stiel 2 (a), Abheben Kopfrippe (b), Rissbildung GFB-Beplankung (c-e), Klammerermüden Beplankung und Klammerherausziehen Bekleidung an Stiel 5 (f); WT 09_c_1

Untersuchungsergebnisse

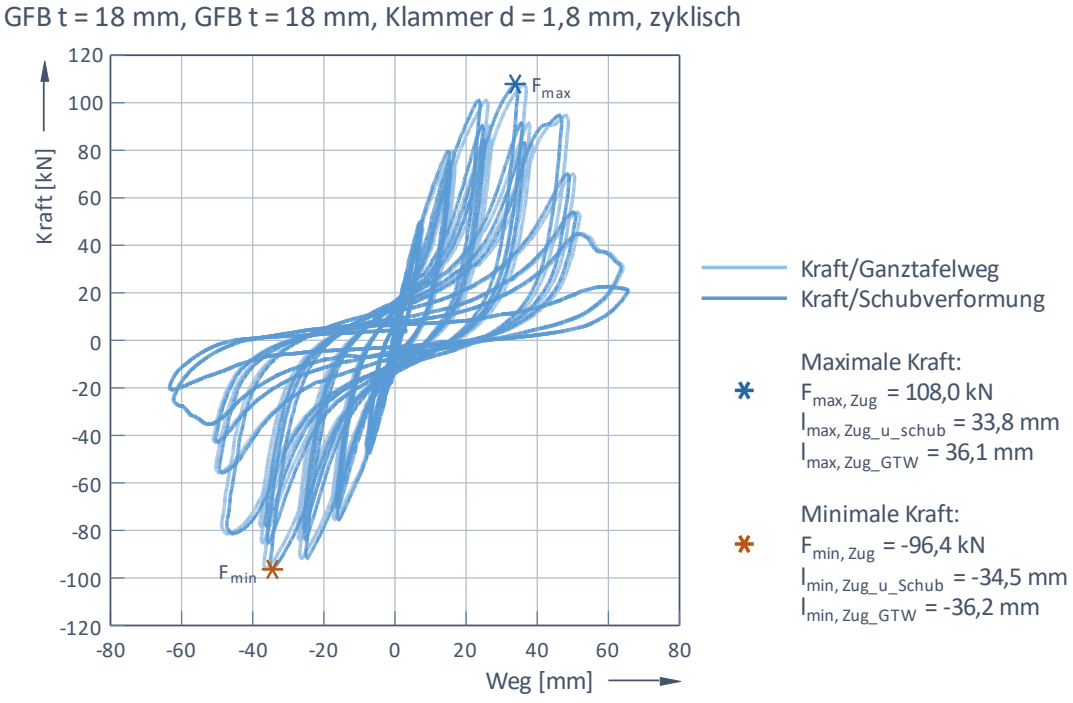


Abbildung B-292: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg und Schubverformung; WT 09_c_1

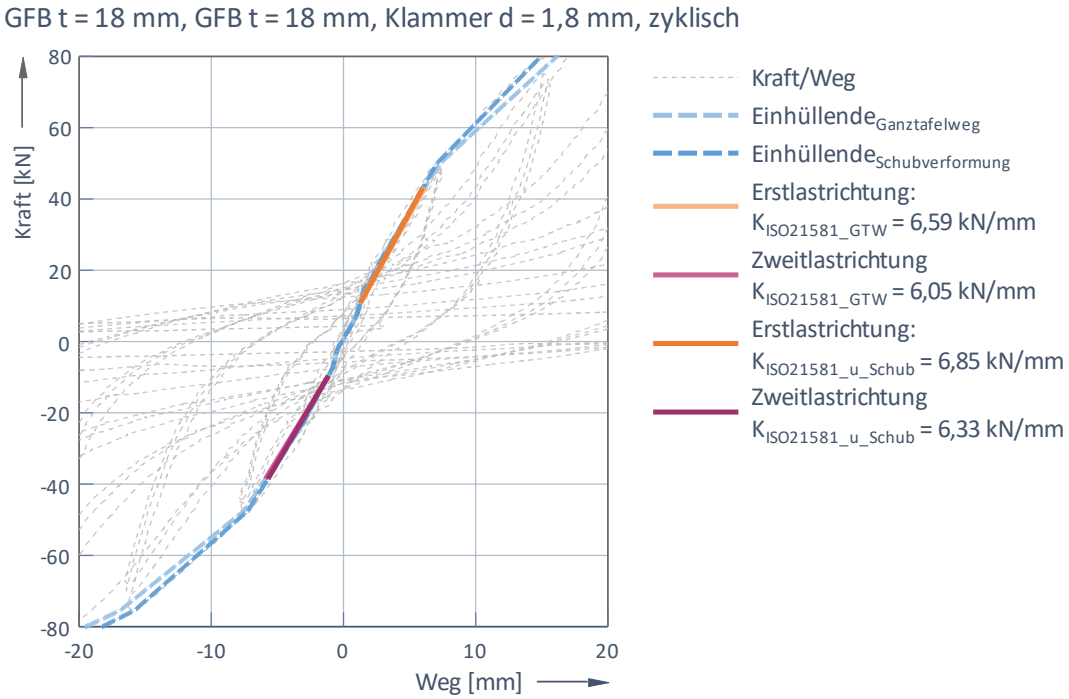


Abbildung B-293: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 09_c_1

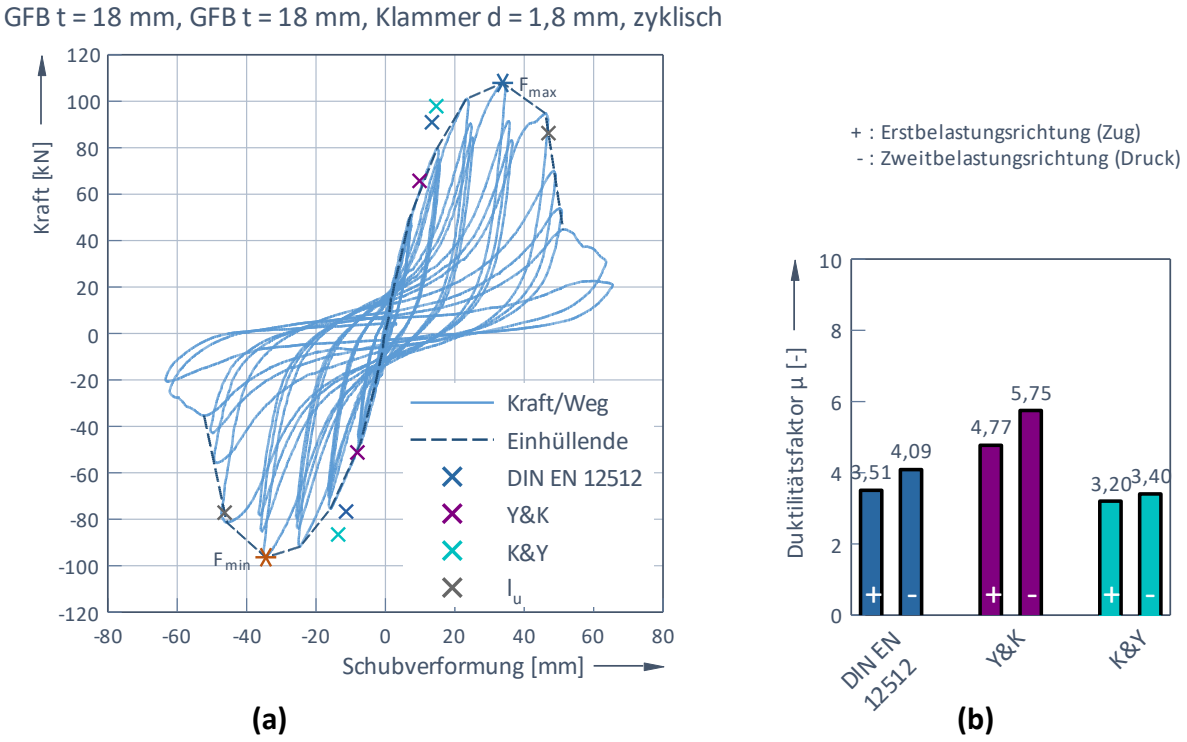


Abbildung B-294: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 09_c_1

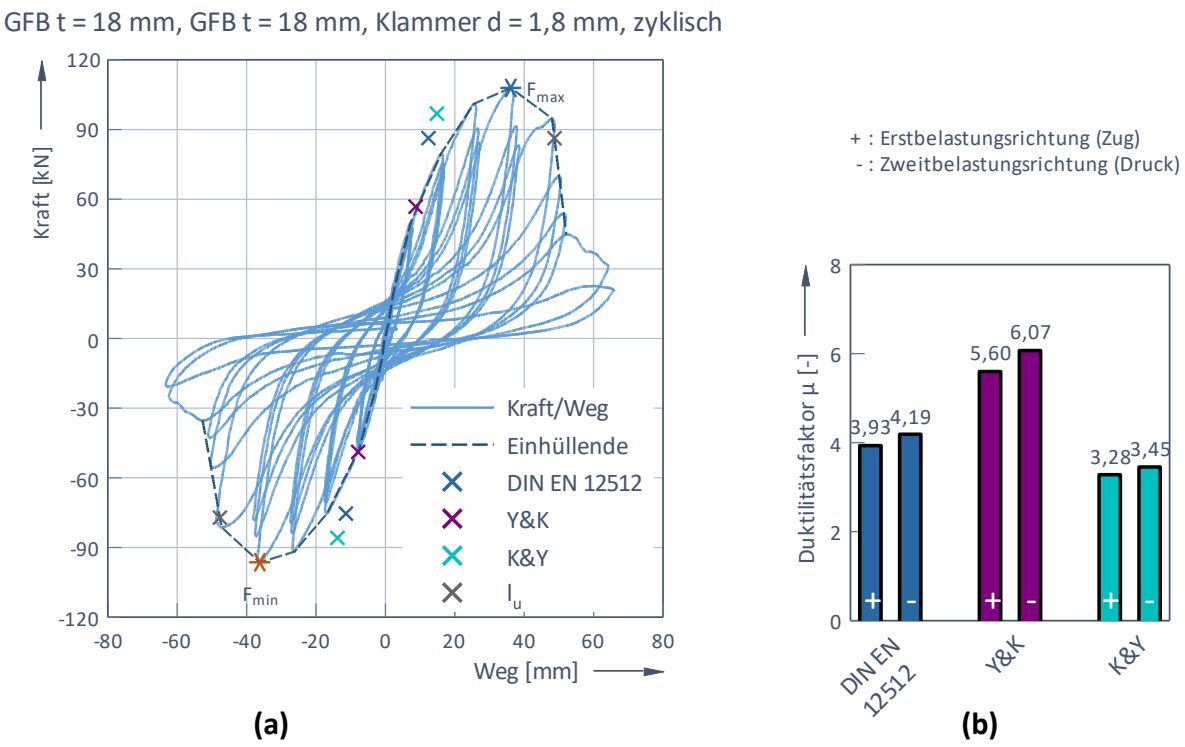


Abbildung B-295: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 09_c_1

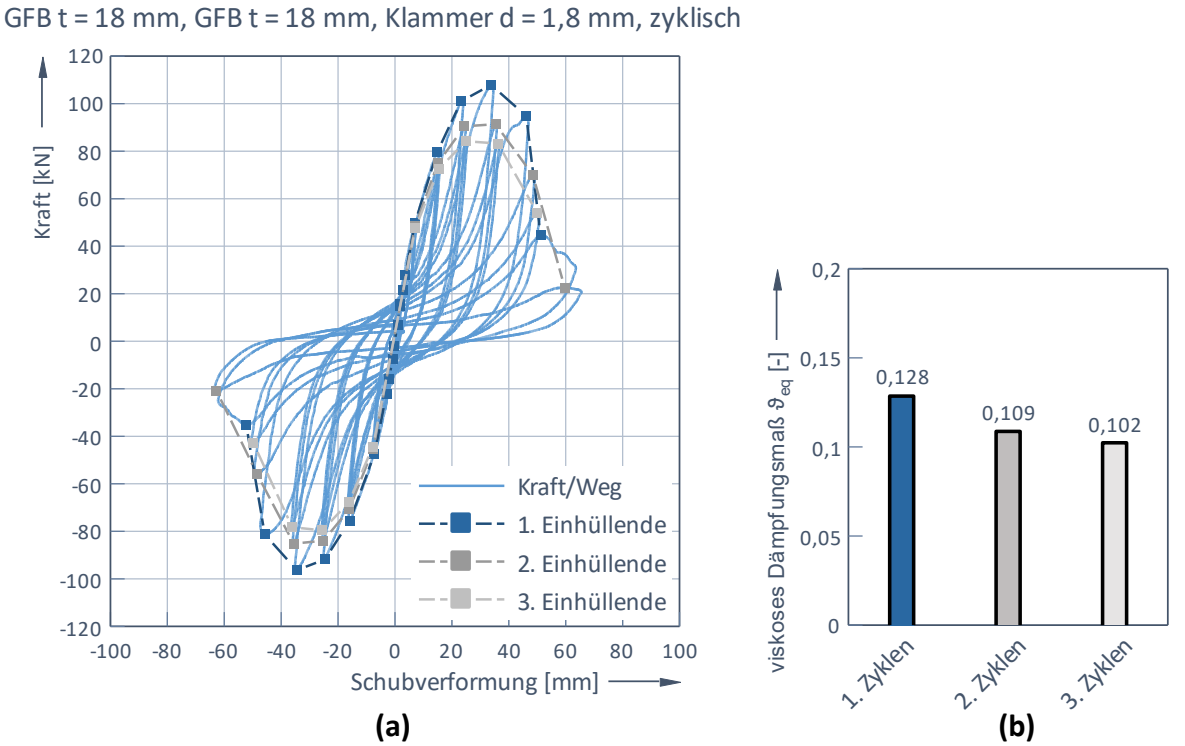


Abbildung B-296: Einhüllende (a) und Vergleich des mittleren viskosen Dämpfungsmaßes in den ersten bis dritten Gesamtzyklen der 3er-Zyklen-Kollektive (b); WT 09_c_1

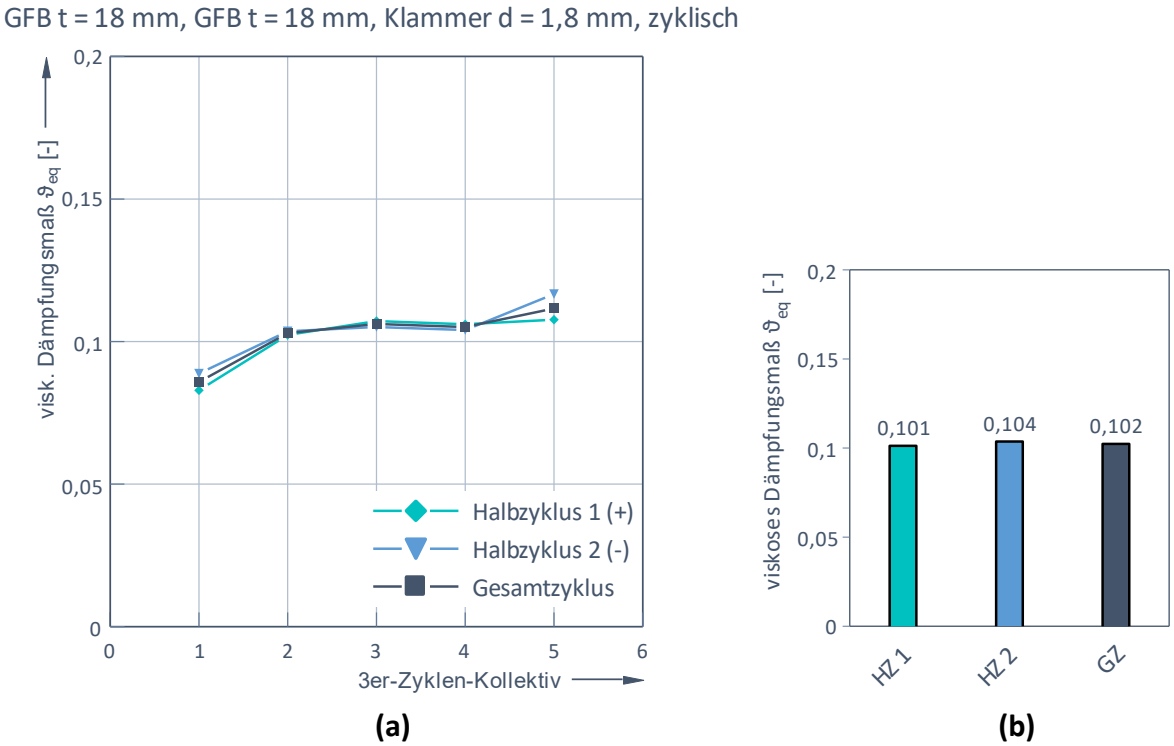


Abbildung B-297: Vergleich des viskosen Dämpfungsmaßes als Einzelwerte (a) und Mittelwerte (b) der dritten Zyklen der 3er-Zyklen-Kollektive; WT 09_c_1

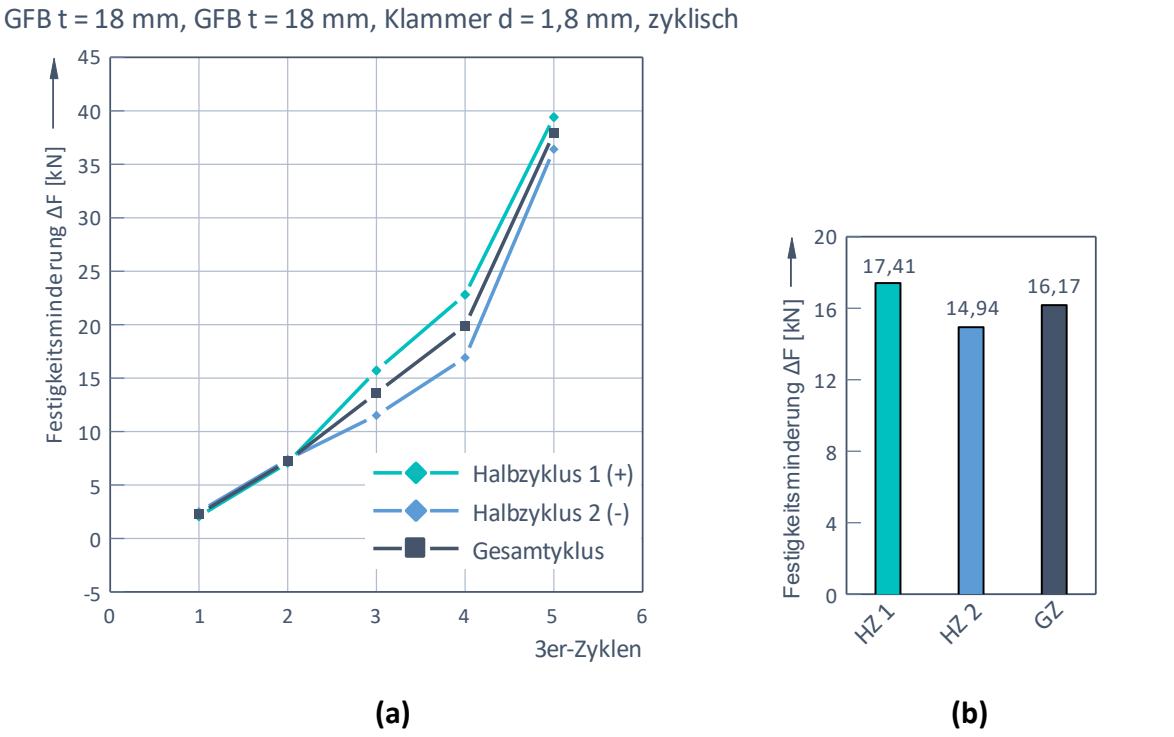


Abbildung B-298: Vergleich der Festigkeitsminderung der 3er-Zyklen-Kollektive als Einzelwerte je Zyklus (a) und als Mittelwerte je Halbzyklus (b); WT 09_c_1

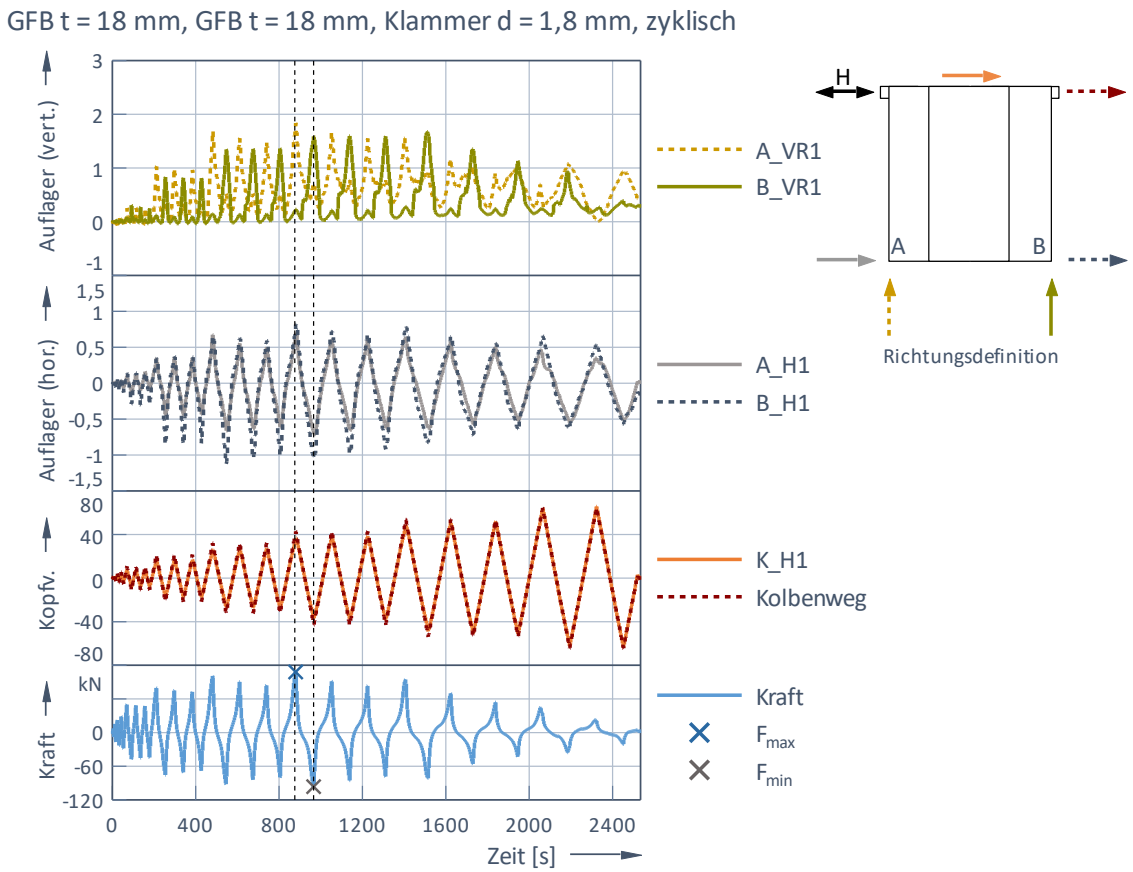


Abbildung B-299: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 09_c_1

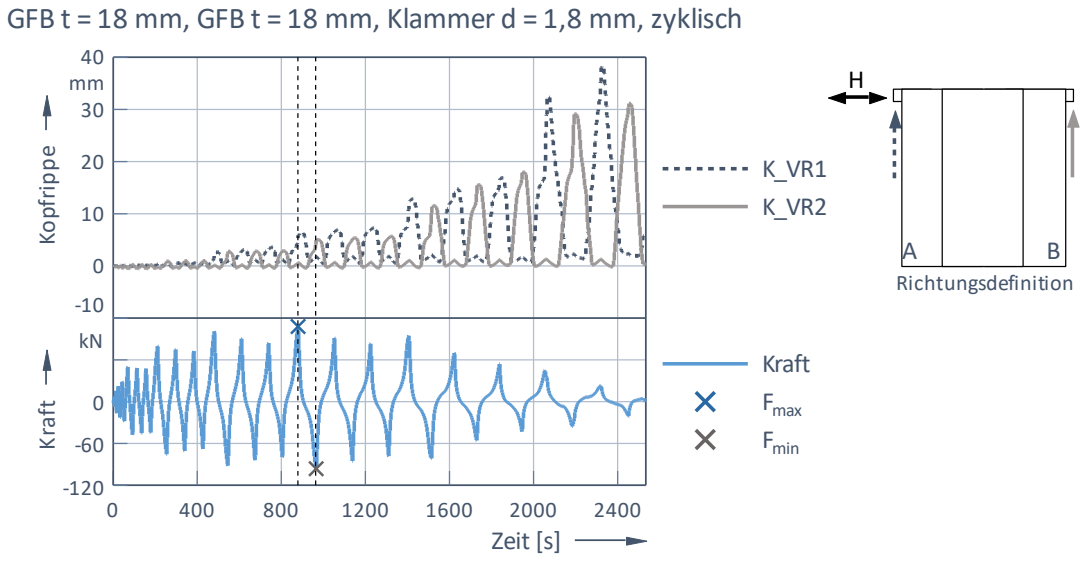


Abbildung B-300: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 09_c_1

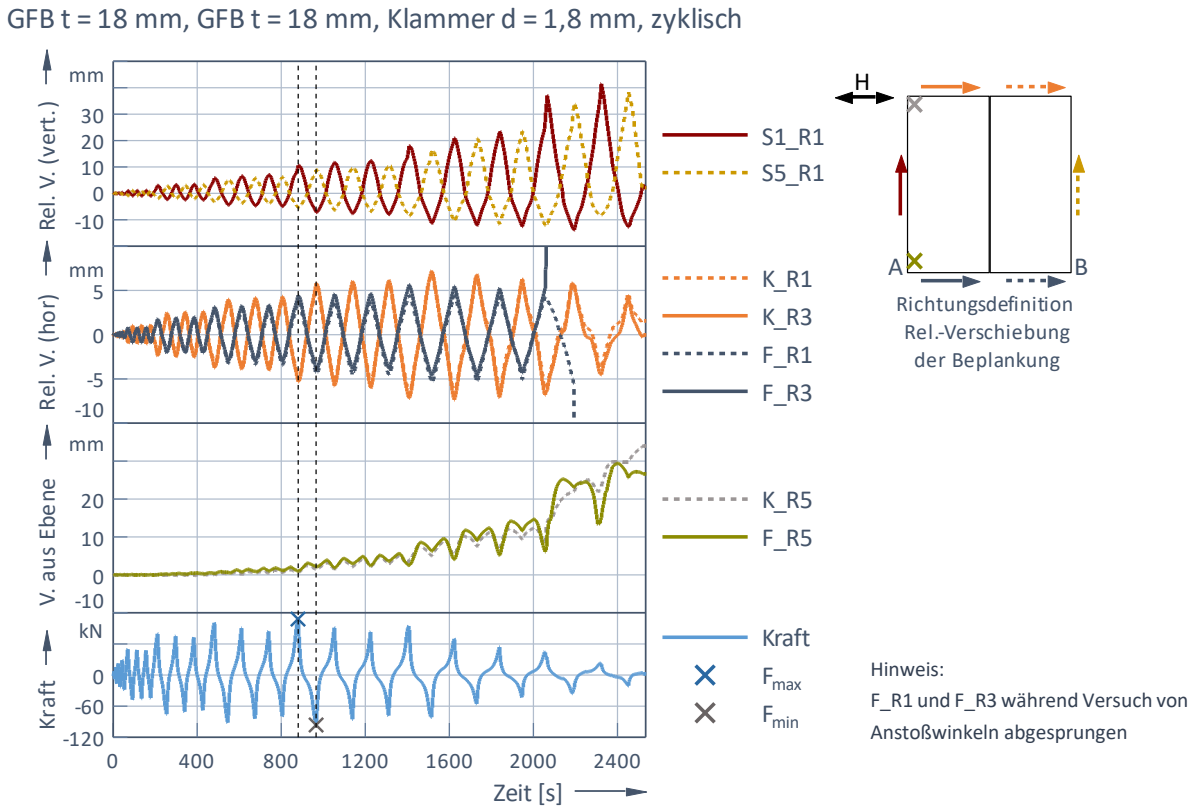


Abbildung B-301: Wegmessungen an Beplankung; WT 09_c_1

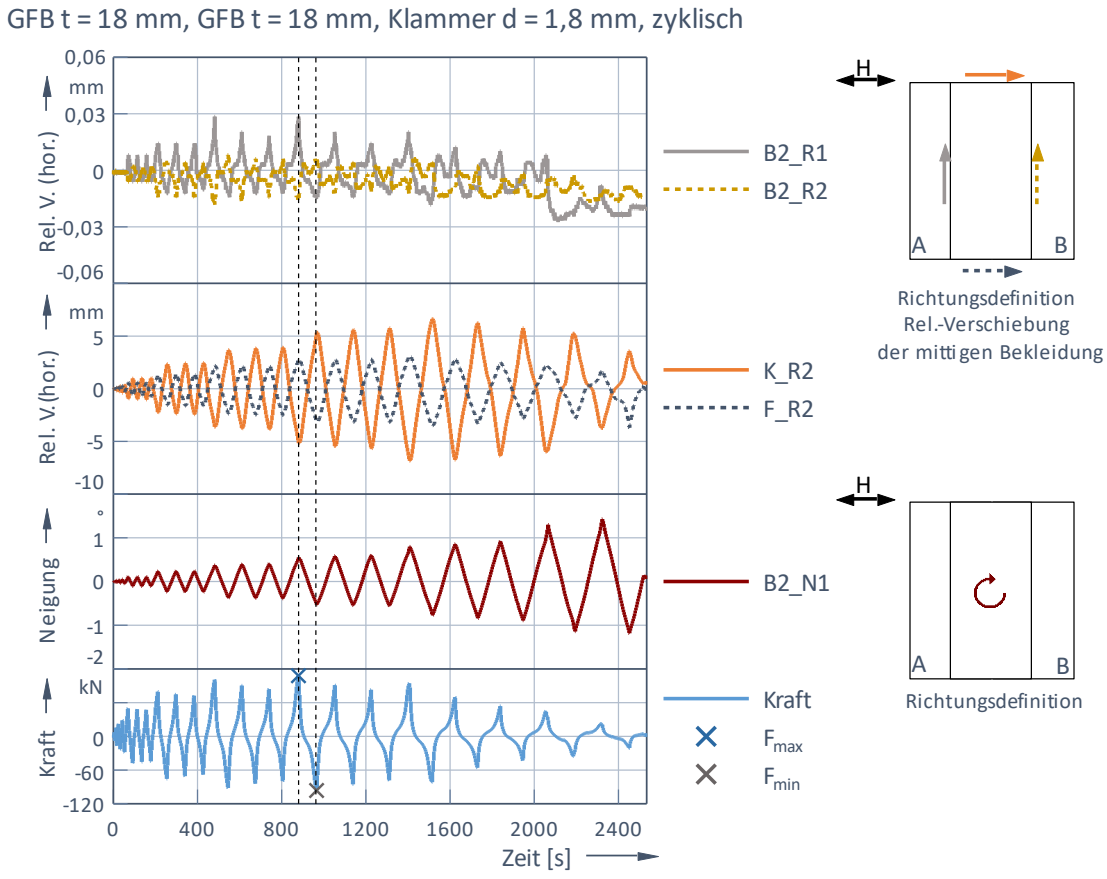


Abbildung B-302: Wegmessungen an Bekleidung; WT 09_c_1

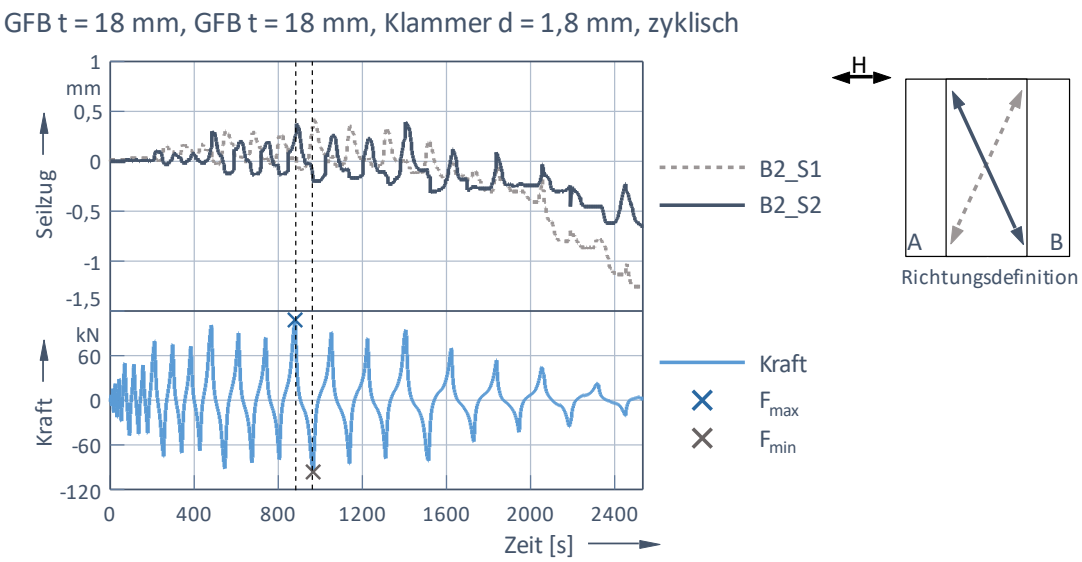


Abbildung B-303: Diagonale Wegmessungen an Bekleidung; WT 09_c_1

B.24 Wandtafel 10_c_1

Tabelle B-24: Prüfangaben und Anmerkungen; WT 10_c_1

Wandtafel		
Stiele:	80 x 200 mm, KVH C24	
Kopf-/Fußrippe:	120 x 200 mm, KVH C24, mit Ausklinkung	
Beplankung:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Klammern: Ø 1,80 - 65 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 1:	GFB, t = 18 mm, 1-seitig Spreizklammern: Ø 1,53 - 35 mm, a_v = 75 mm	
Bekleidung 2:	Keine	

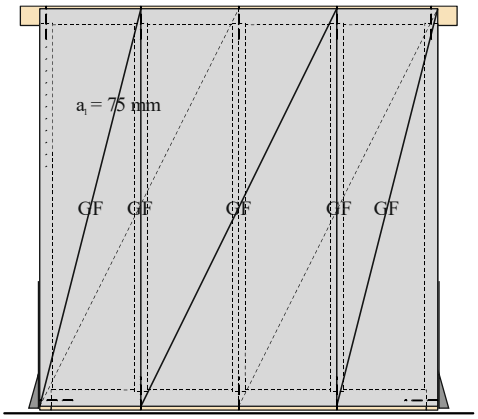


Abbildung B-304: Wandtafel 10_c_1

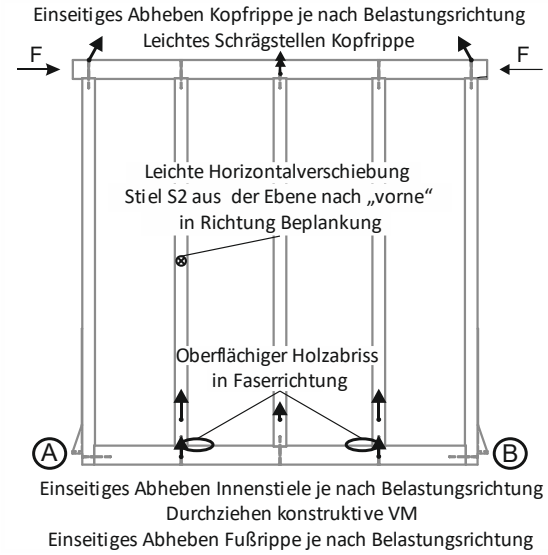
Untersuchung		
Datum	11.07.2023	
Raumtemperatur T	29,7 °C	
Raumfeuchte R_H	41 %	
Holzrohdichte $\rho_{i,m}$	$\rho_{S1,m}$ = 412 kg/m³	(Stiel 1)
	$\rho_{S5,m}$ = 345 kg/m³	(Stiel 5)
	$\rho_{K,m}$ = 487 kg/m³	(Kopfrippe)
	$\rho_{ges,m}$ = 415 kg/m³	(Gesamt)
Holzfeuchte ω_m	12,8 %	
Lastprotokoll	ISO 21581	Zyklisch
Belastung	1,0 mm/s	Tragfähigkeitsprüfung
Maximal-/Minimalkraft	66,3 kN / -55,2 kN	(Klammerversagen maßgebend)

Anmerkungen

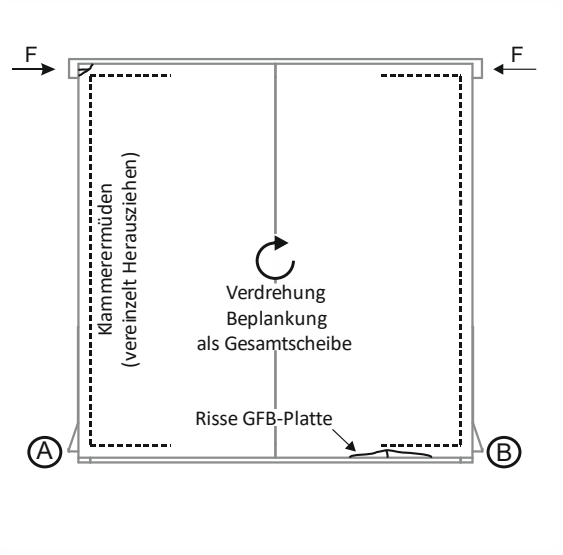
Während Versuch:

- Deutliches „Durchknacken“ an Auflager A entlang Stiel 1 in erstem Zugzyklus $0{,}6 \cdot l_u$
- Initiale Fugenöffnung an Stiel 1 mittig und oben in Zugzyklus, Weiteröffnung der Fuge in Druckzyklus, Schließen der Fuge bei Erreichen der maximalen Druckkraft

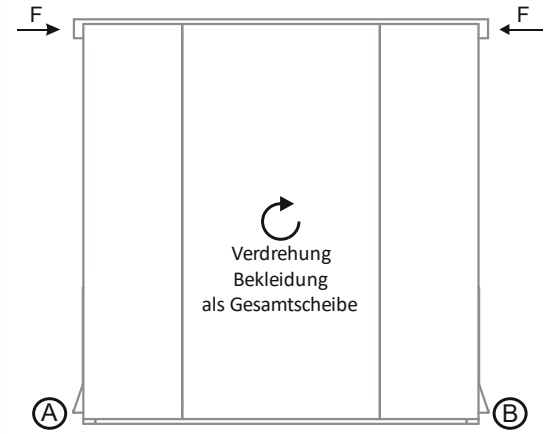
Versagensbild (Feststellung nach Prüfungsende)



(a)

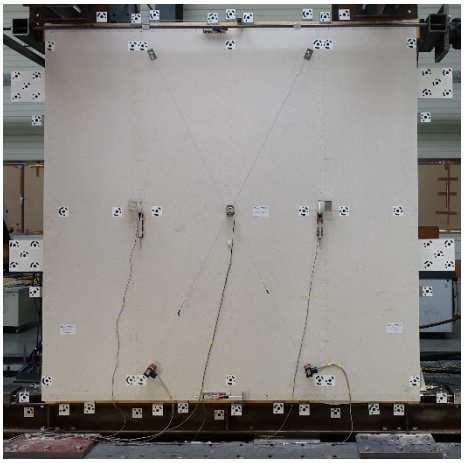


(b)



(c)

Abbildung B-305: Versagensbilder Rahmen (a), Beplankung (b) und Bekleidung (c); WT 10_c_1



(a)



(b)



(c)

Abbildung B-306: Versagensbild Vorderseite (a), Seitenansicht Stiel 1 (b) und Rückseite (c); WT 10_c_1

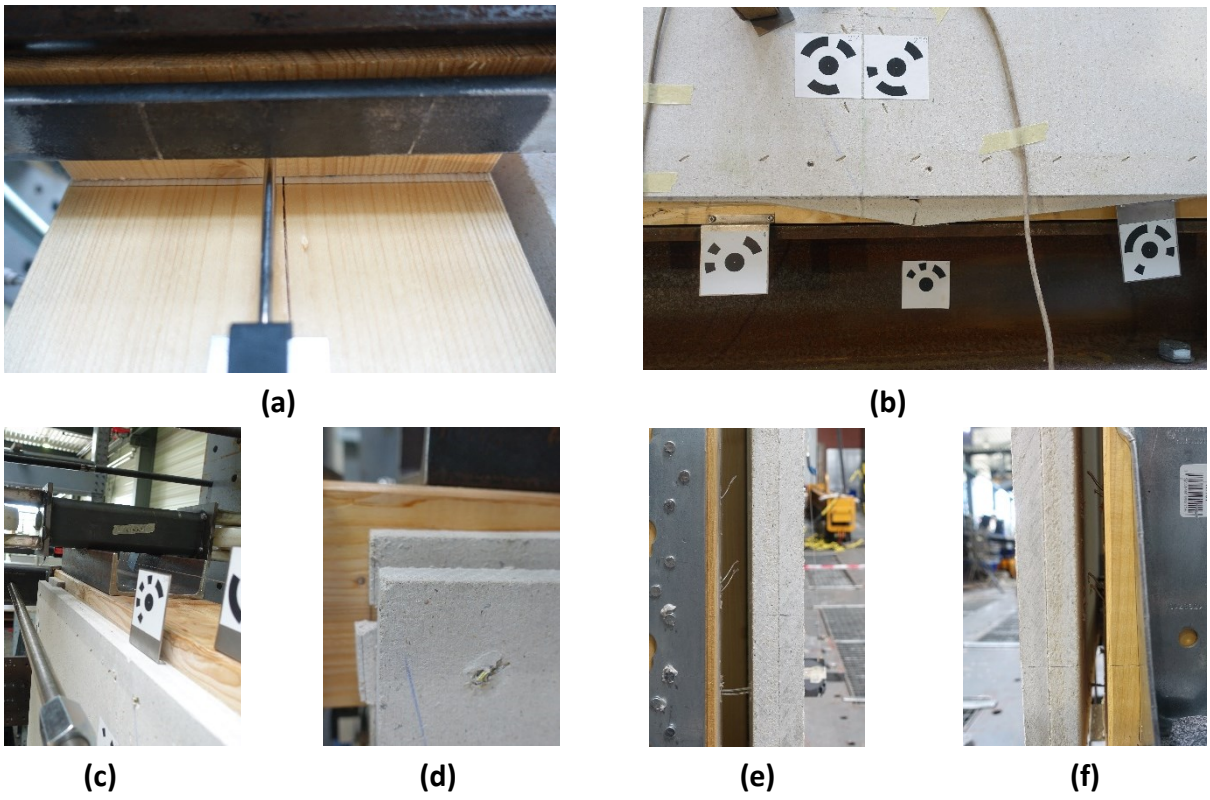


Abbildung B-307: Abheben Kopfrippe (a), Rissbildung GFB-Beplankung (b-d), Klammerermüden und -herausziehen Beplankung(e-f); WT 10_c_1

Untersuchungsergebnisse

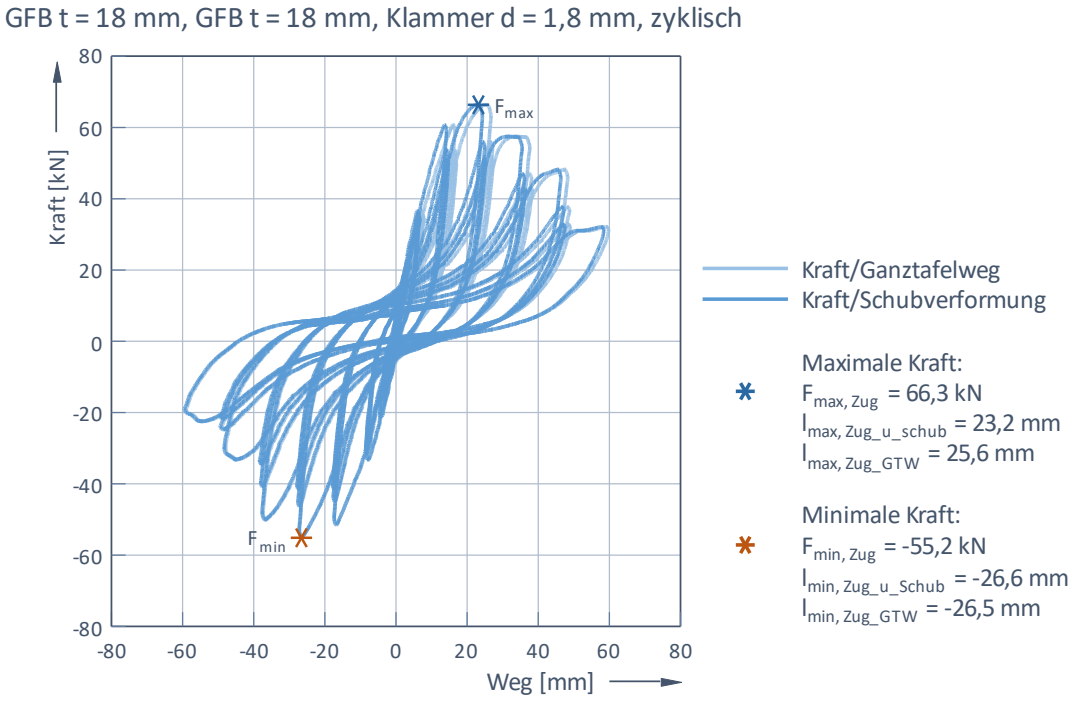


Abbildung B-308: Last-Verformungskurve über Ganztafelweg und Schubverformung; WT 10_c_1

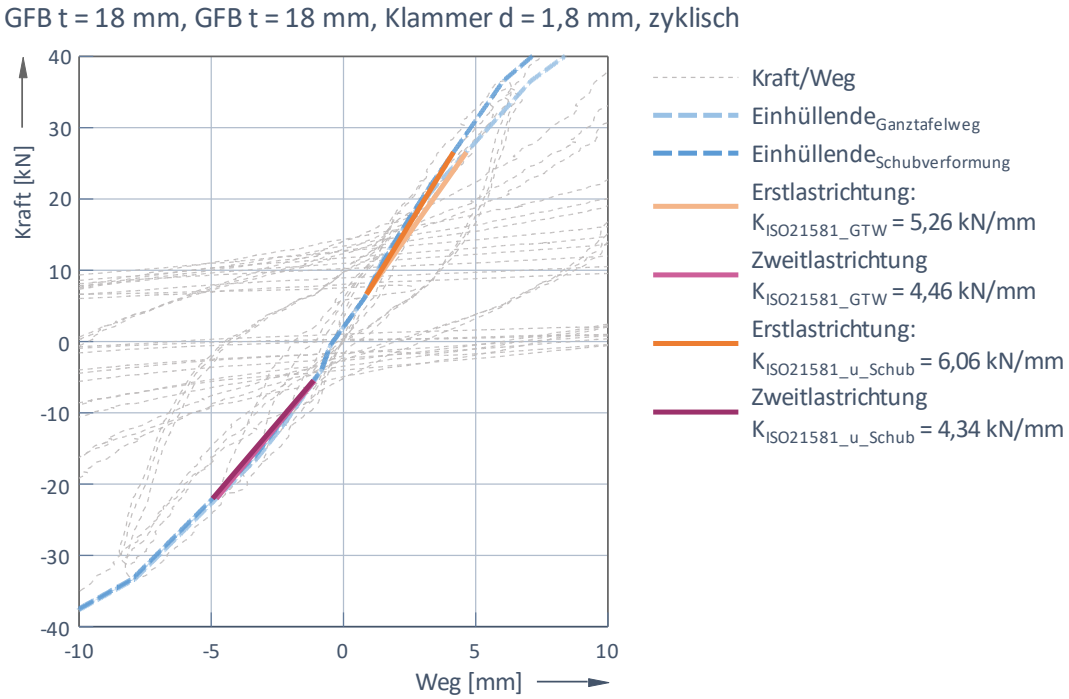


Abbildung B-309: Ermittlung der Steifigkeit über Schubverformung und Ganztafelweg; WT 10_c_1

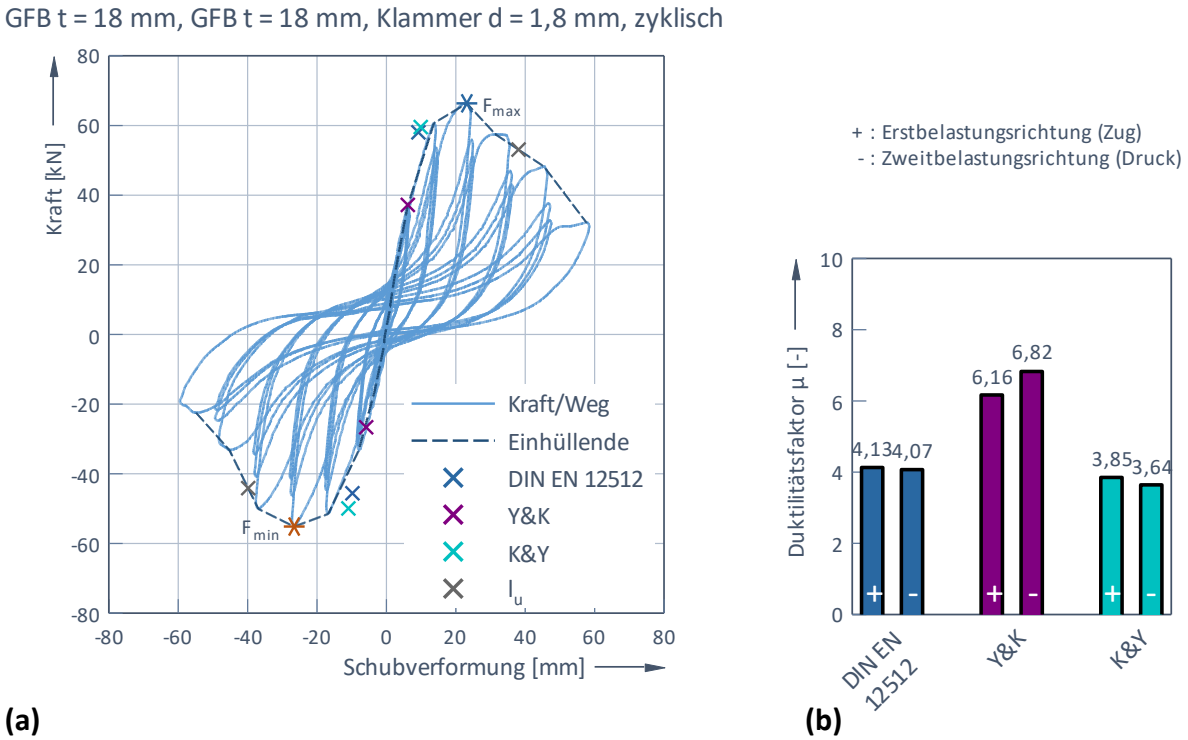


Abbildung B-310: Fließverformung über Schubverformung (a); Duktilität (b); WT 10_c_1

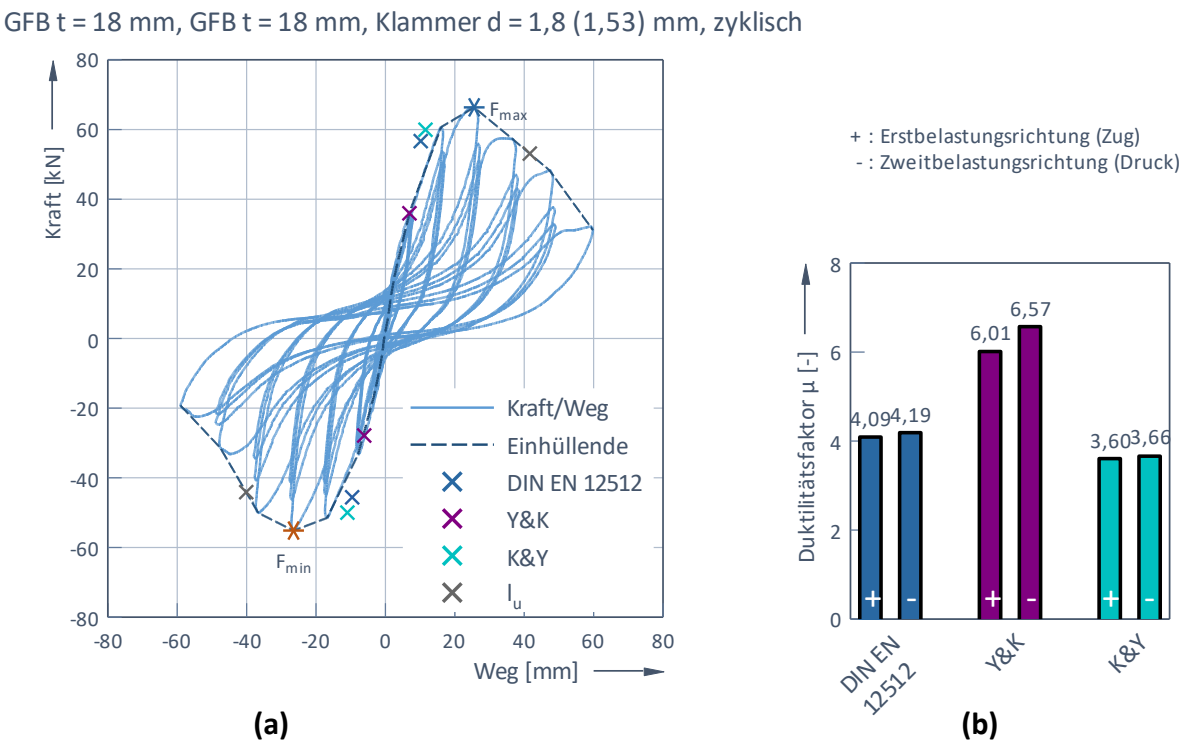


Abbildung B-311: Fließverformung über Ganztafelweg (a); Duktilität (b); WT 10_c_1

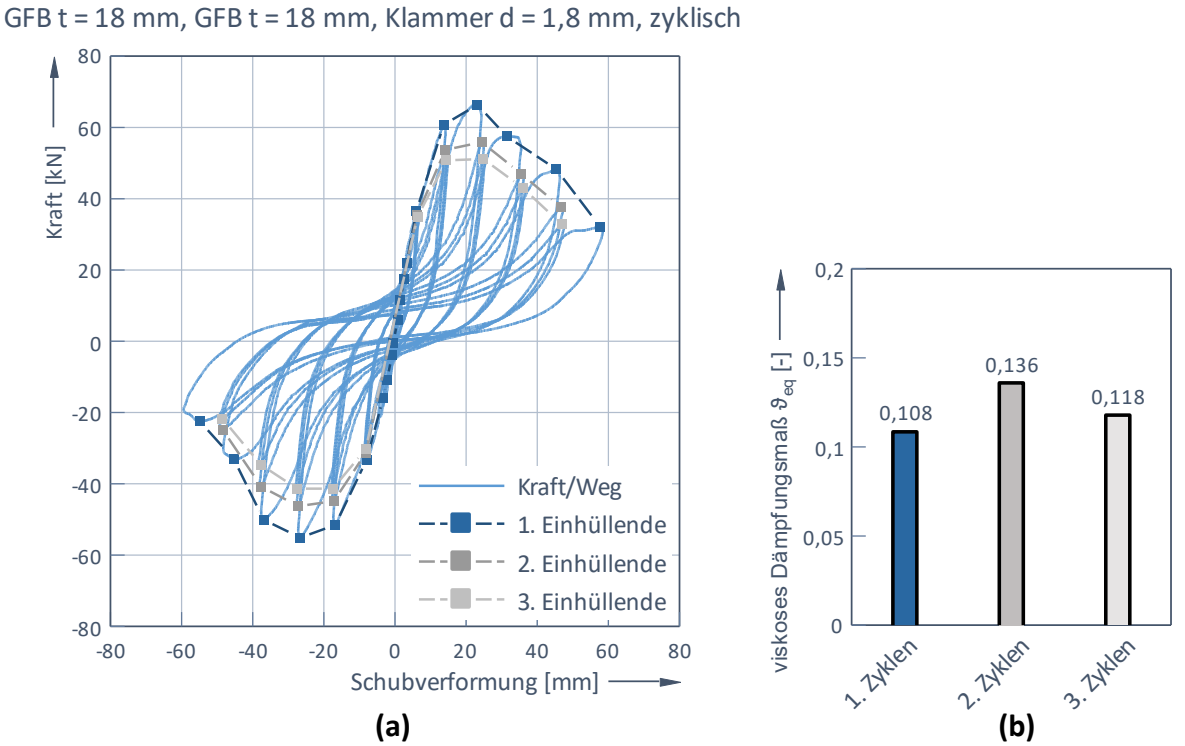


Abbildung B-312: Einhüllende (a) und Vergleich des mittleren viskosen Dämpfungsmaßes in den ersten bis dritten Gesamtzyklen der 3er-Zyklen-Kollektive (b); WT 10_c_1

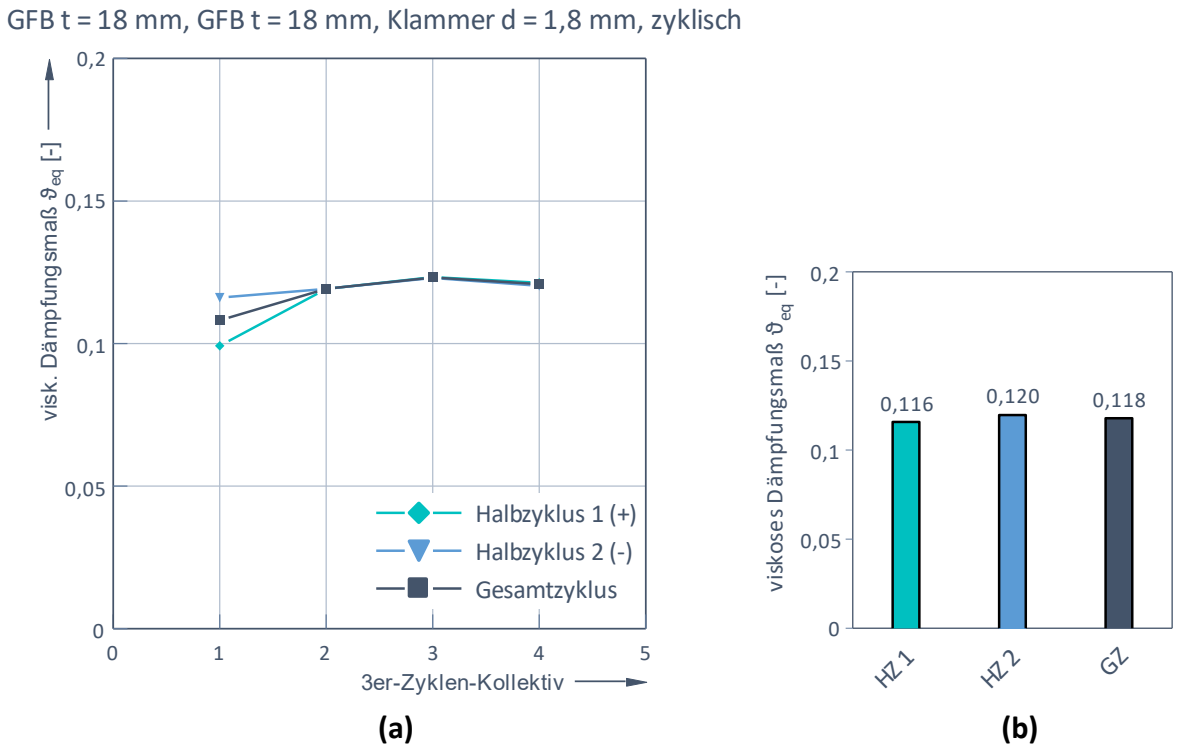


Abbildung B-313: Vergleich des viskosen Dämpfungsmaßes als Einzelwerte (a) und Mittelwerte (b) der dritten Zyklen der 3er-Zyklen-Kollektive; WT 10_c_1

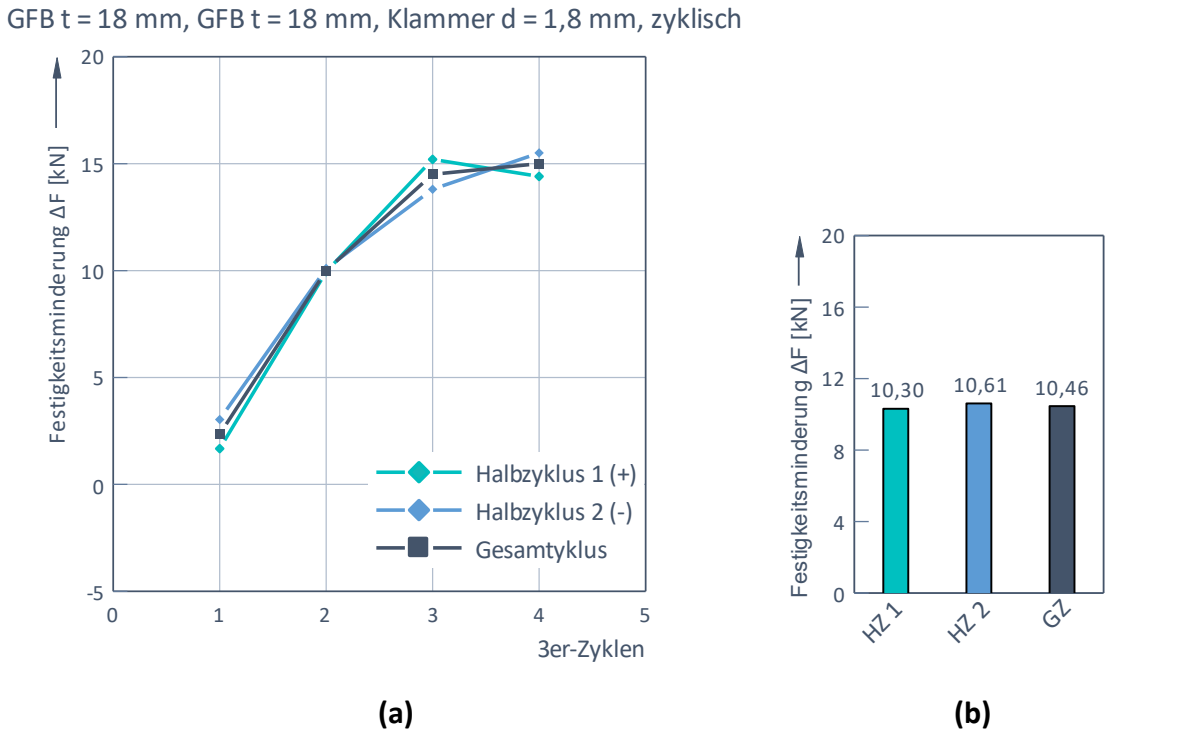


Abbildung B-314: Vergleich der Festigkeitsminderung der 3er-Zyklen-Kollektive als Einzelwerte je Zyklus (a) und als Mittelwerte je Halbzyklus (b); WT 10_c_1

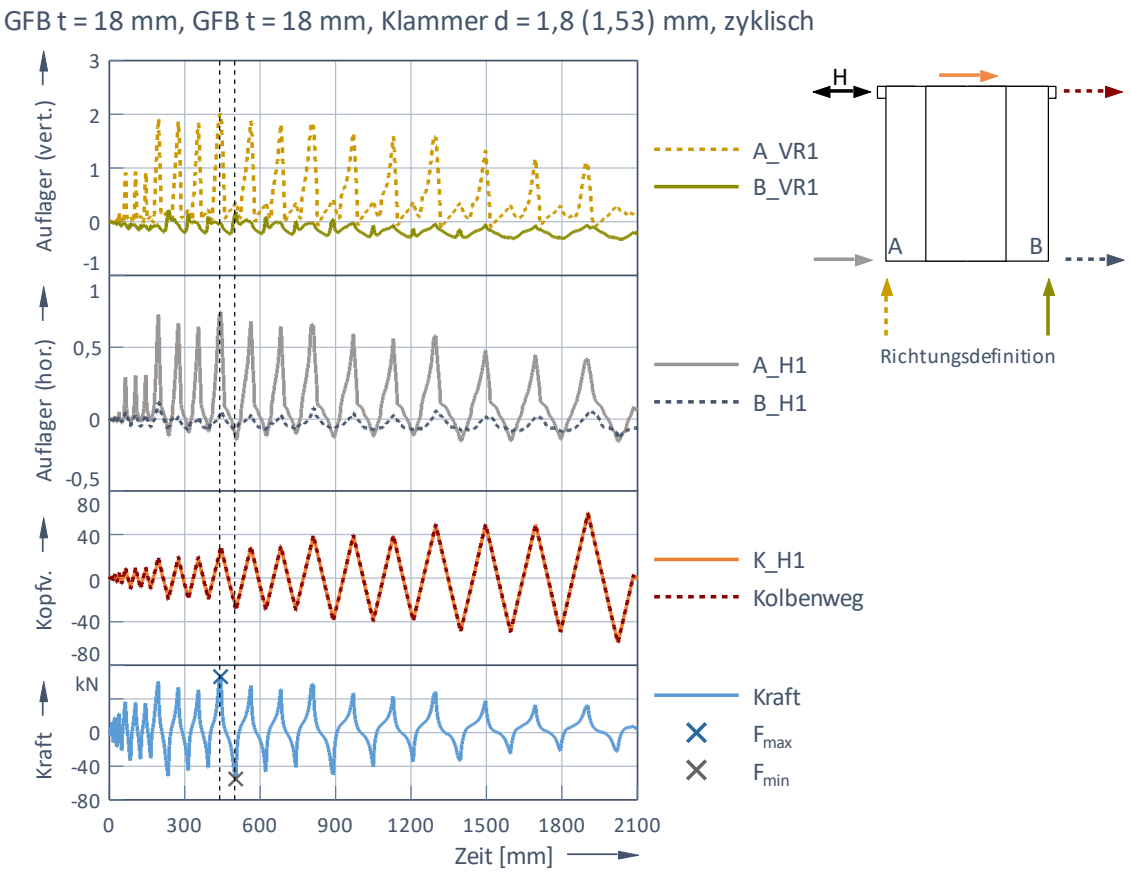


Abbildung B-315: Wegmessungen an Gesamtkörper; WT 10_c_1

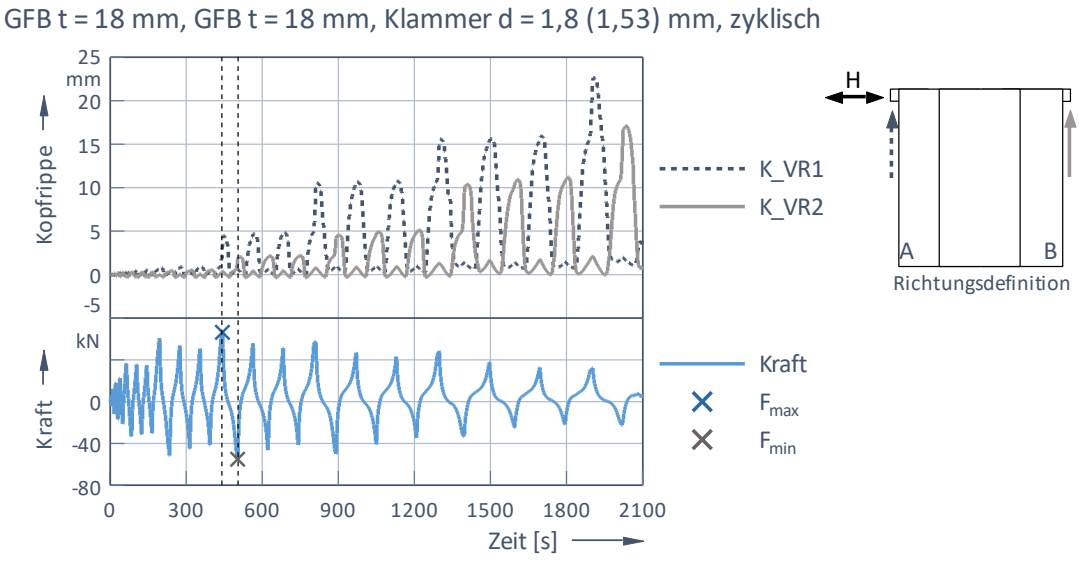


Abbildung B-316: Wegmessungen an Kopfrippe; WT 10_c_1

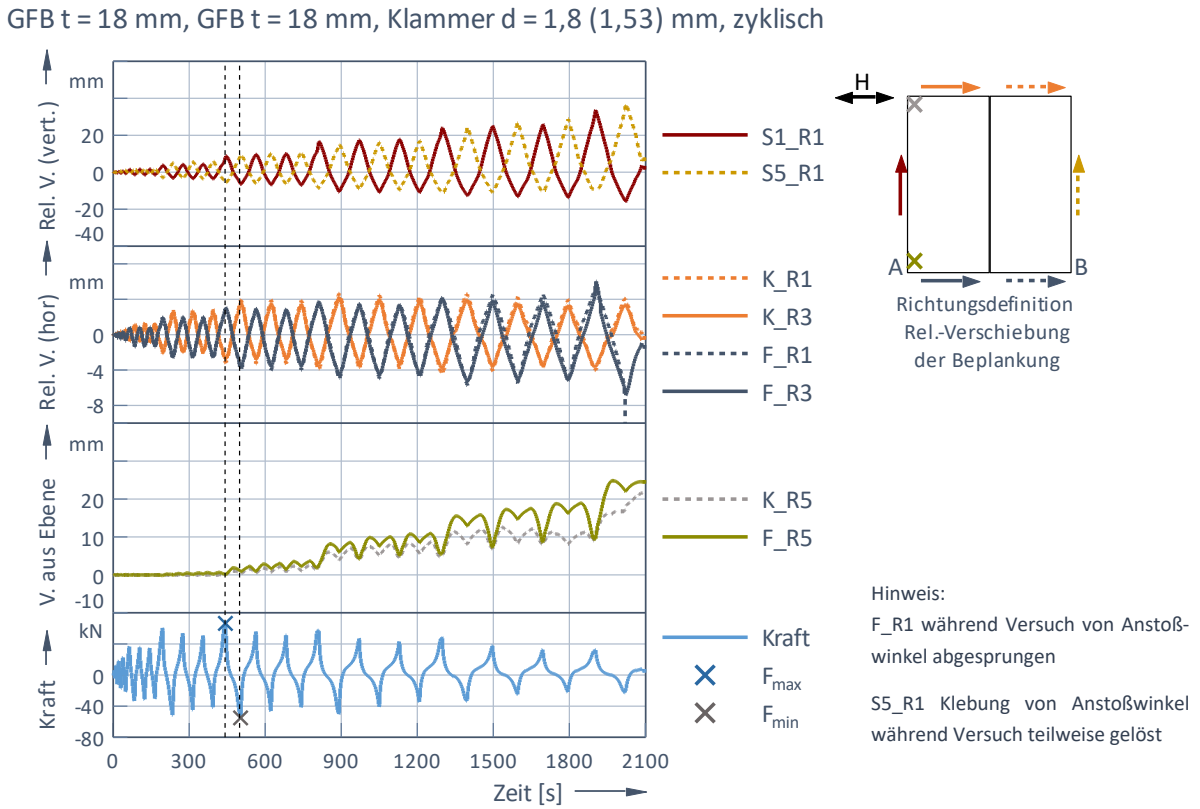


Abbildung B-317: Wegmessungen an Beplankung; WT 10_c_1

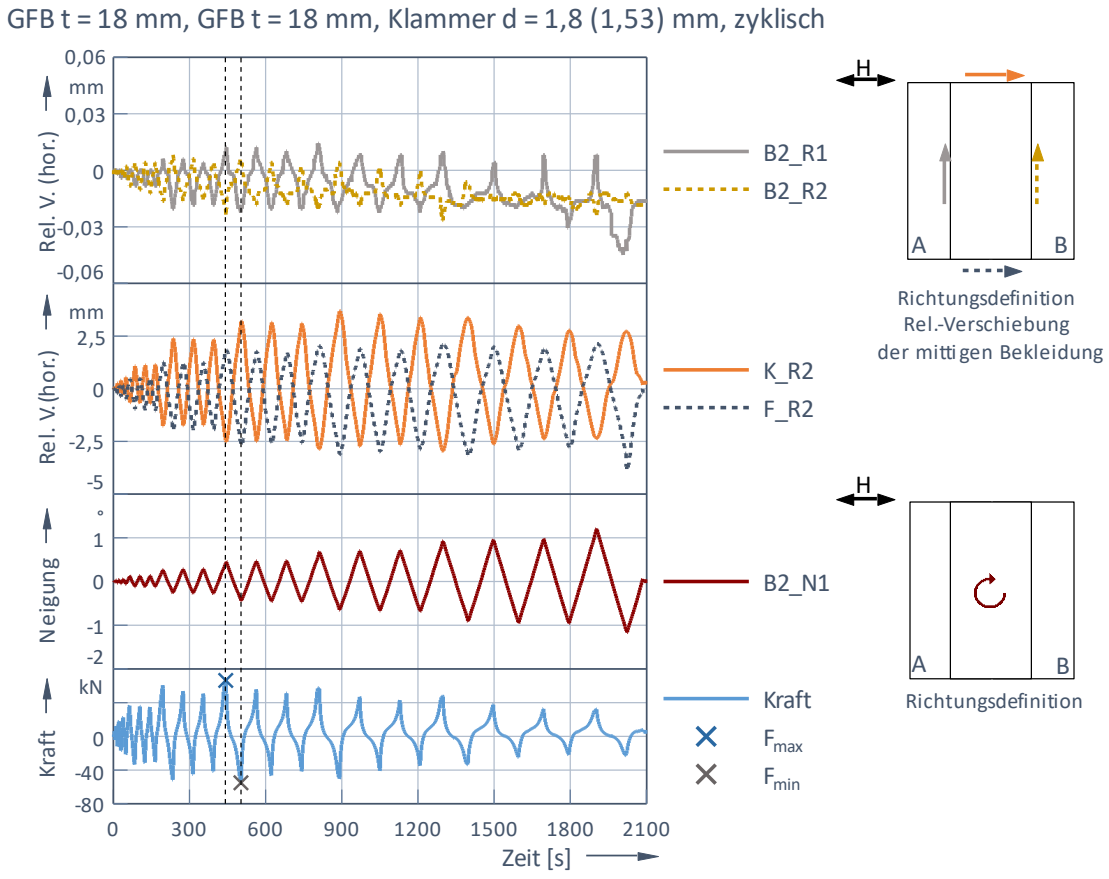


Abbildung B-318: Wegmessungen an Bekleidung; WT 10_c_1

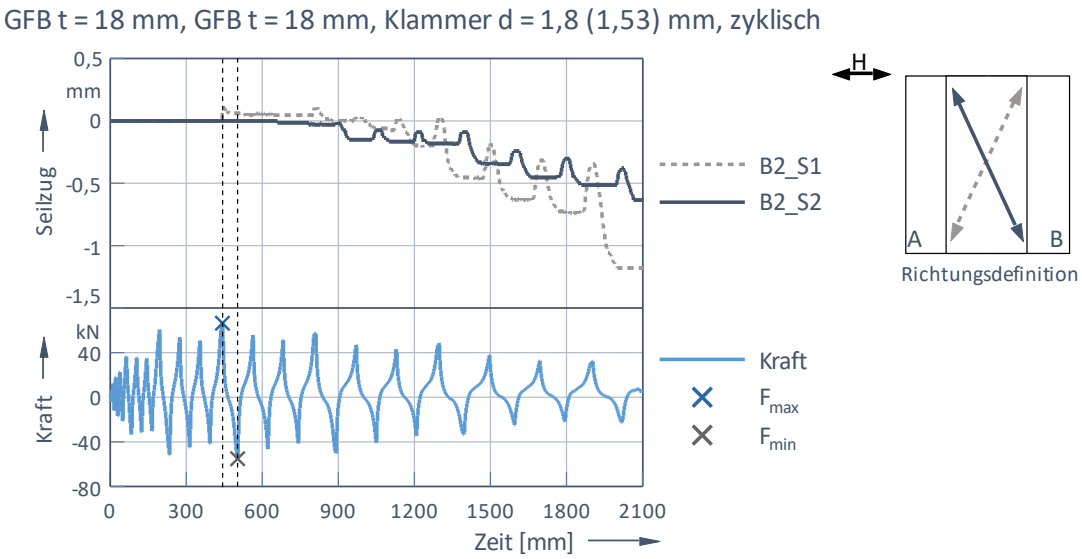


Abbildung B-319: Diagonale Wegmessungen an Bekleidung; WT 10_c_1