

# Prüfbericht

## Wandscheiben

### System Lina

<b>Auftrag vom:</b>	November 2019	<b>Projektnummer:</b>	201911-0091
<b>Sachbearbeiter:</b>	W. Neumayer	<b>Laborant:</b>	N. Kofler; W. Neumayer
<b>Seiten:</b>	26	<b>Revision:</b>	-
<b>Anlagen / Seiten:</b>	-		
<b>Datum:</b>	20.03.2020		

Sofern keine gesonderten Vereinbarungen vorliegen wird das Prüfmaterial seitens der TVFA entsorgt. Der Prüfbericht darf nur in vollem Umfang und unverändert weitergegeben werden. Die Veröffentlichung von Auszügen oder Durchführung von sonstigen Änderungen bedarf der Zustimmung des Laborleiters der TVFA-Innsbruck bzw. dem verantwortlichen Sachbearbeiter. Prüfberichte ohne Unterschrift und Stempel sind nicht gültig.

A-6020 Innsbruck, Technikerstraße 13

Telefon: +43 512 507 62900

Fax: + 43 512 507 30309

E-Mail: [tvfa@uibk.ac.at](mailto:tvfa@uibk.ac.at)

<http://www.uibk.ac.at/tvfa/>

UID: ATU57495437

Bank: Hypo Tirol Bank

IBAN: AT475700021011130470

BIC: HYPTAT22

Gerichtsstand: Innsbruck

## Inhaltsverzeichnis

1	Angaben zum Prüfauftrag .....	3
2	Material und Methoden .....	4
2.1	Prüfkörper .....	4
2.2	Prüfmethode und verwendete Messeinrichtungen .....	5
Ergebnisse .....		7
3.1	Durchdrückwiderstand des Dübels aus unstrukturierten Prüfkörpern .....	7
3.2	Lochleibungsfestigkeit des Dübels aus unstrukturierten Prüfkörpern ....	9
3.3	Durchdrückwiderstand des Dübels aus strukturierten Prüfkörpern .....	10
3.4	Schubprüfungen an Wandscheiben .....	11
4	Anhang - Diagramme und Schadensbilder .....	12
4.1	Durchdrückwiderstand des Dübels aus unstrukturierten Prüfkörpern .....	12
4.2	Lochleibungsfestigkeit des Dübels aus unstrukturierten Prüfkörpern ...	15
4.3	Durchdrückwiderstand des Dübels aus strukturierten Prüfkörpern .....	18
4.4	Schubprüfungen an Wandscheiben .....	20

**1 Angaben zum Prüfauftrag**

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit und Steifigkeit von Massivholzwänden des Systems LINA wurden an der TVFA Innsbruck Bauteilprüfungen zur Bestimmung der mechanischen Kennwerte durchgeführt. Dies erfolgte im Zuge von Prüfungen der Verbindungselemente der Wandsegmente sowie durch Prüfungen an vollständigen Wandscheiben.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Prüfkörper

Bei den Wandscheiben des Systems Lina handelt es sich um Vollholzmassivelemente aus vertikal angeordneten Nadelholzpfosten. Diese Holzelemente sind zur thermischen Optimierung mit Nuten strukturiert. Die Verbindung der Pfosten untereinander wird durch horizontal bzw. schräg angeordnete Buchenholzdübeln gewährleistet. An den Dübeln mit 20 mm Kerndurchmesser ist zur Erhöhung des Ausziehwiderstandes und zur Montage ein Gewinde angeordnet (Abb. 1). Diesen Verbindungselementen galt besonderes Augenmerk bei den durchgeführten Prüfungen. Weiters wurden Schubprüfungen an Wandelementen in zwei unterschiedlichen Dicken (12 und 33 cm) durchgeführt. Die Kleinprüfkörper wurden vor den Untersuchungen unter 20°C und 65% relativer Luftfeuchte, nach den Bedingungen in den Prüfnormen ÖNORM EN 383 und ÖNORM EN 1382 akklimatisiert.

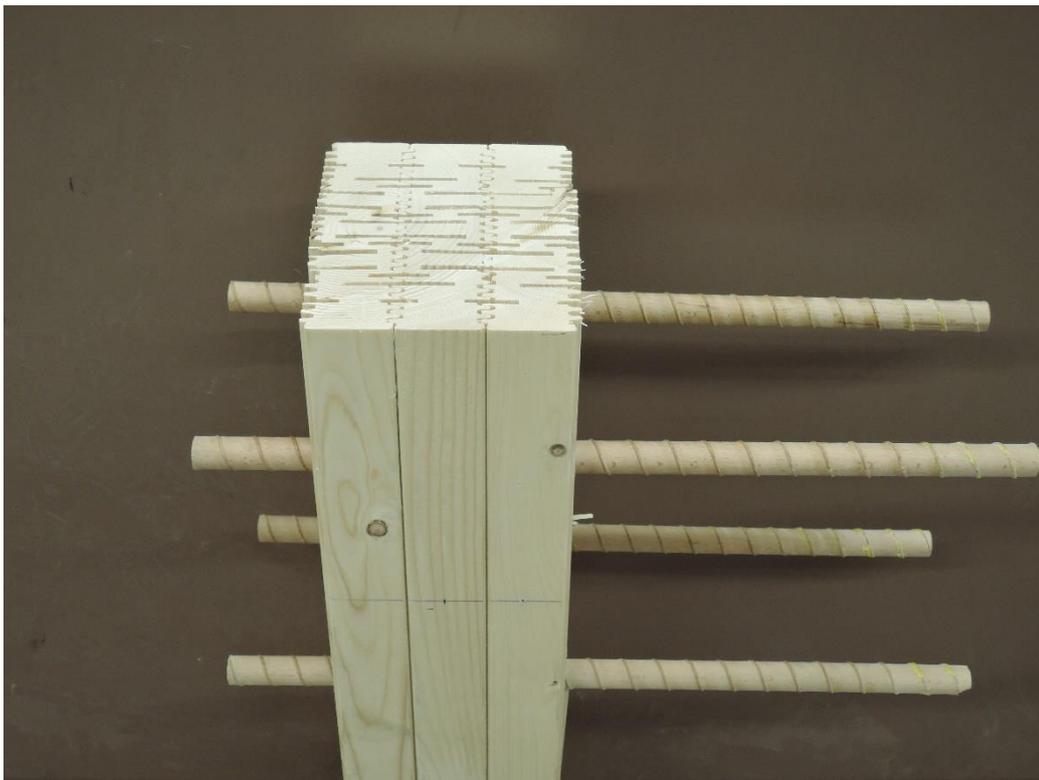


Abb. 1: Systematische Darstellung des Wandaufbaus

## 2.2 Prüfmethode und verwendete Messeinrichtungen

Folgende Prüfungen wurden an den Verbindungselementen der Wandscheiben durchgeführt.

- **Widerstand auf durchdrücken des Dübels aus einem Nadelholzprüfkörper ohne Strukturierung**

Die Prüfung wurde nach den Vorgaben der ÖNORM EN 1382 durchgeführt, mit dem Unterschied, dass der Verbinder auf Druck und nicht auf Zug belastet wurde. Die Differenzverformung zur Ermittlung des Ausziehmoduls wurde mitgemessen. Es wurde bei der Ausrichtung des Dübels zwischen 90° zur Faserrichtung bzw. 60° zur Faserrichtung des Prüfkörpers unterschieden.

Prüfmittel:

- PMN 15007 Universalprüfmaschine SHIMADZU 100 kN
- PMN 15017 Messschieber MITUTOYO 150 mm
- PMN 02013-03 Wegaufnehmer HBM 20 mm

- **Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit und Bettungswerte des Dübels in einem Nadelholzprüfkörper ohne Strukturierung**

Die Prüfung wurde nach den Vorgaben der ÖNORM EN 383 durchgeführt. Die Lastaufbringung erfolgte nach dem Belastungsverfahren der ÖNORM EN 26891. Die Einpressung zur Ermittlung der Bettungswerte wurde mitgemessen. Es wurde bei der Ausrichtung des Dübels zwischen 90° zur Faserrichtung bzw. 0° zur Faserrichtung des Prüfkörpers unterschieden.

Prüfmittel:

- PMN 18031 Universalprüfmaschine TIRA 150 kN
- PMN 15017 Messschieber MITUTOYO 150 mm
- PMN 02012-02 Wegaufnehmer HBM 50 mm
- PMN 02012-04 Wegaufnehmer HBM 50 mm

- **Widerstand auf durchdrücken des Dübels aus einem Nadelholzprüfkörper mit Strukturierung**
- Die Prüfungen erfolgten an Prüfkörpern bestehend aus Paketen aus drei strukturierten Pfosten welche mit vier Dübeln verbunden sind. Die Ausrichtung der Dübel betrug  $90^\circ$  zur Faserrichtung der Pfosten.

Prüfmittel:

- PMN 18031 Universalprüfmaschine TIRA 150 kN
- PMN 02012-02 Wegaufnehmer HBM 50 mm
- PMN 02012-04 Wegaufnehmer HBM 50 mm

- **Schubprüfungen an Wandscheiben**

Prüfmittel:

- Belastungseinrichtung: ENERPAC 700 bar Hochdruckhydraulikpumpe mit 326 kN Hydraulikzylinder ENERPAC RRH 307
- PMN 02006 Kraftaufnehmer HBM 1 MN
- PMN 20200114 Seilzugwegmesssystem ASM 500 mm
- PMN 20200115 Seilzugwegmesssystem ASM 500 mm

## Ergebnisse

### 3.1 Durchdrückwiderstand des Dübels aus unstrukturierten Prüfkörpern

Um den Einfluss der Orientierung der Jahresringe zu kompensieren wurden an jedem Prüfkörper zwei Prüfungen durchgeführt, wobei die Dübel jeweils um 90° zueinander angeordnet wurden. Die Einbindelänge des Dübels betrug jeweils 150 mm. Sowohl die Ergebnisse der Höchstkraft, als auch des Ausziehmoduls weisen eine gravierende Streuung auf, welche vermutlich zu einem erheblichen Teil auf den Herstellungsprozess zurückzuführen ist. In *Tab. 1* und *Tab. 2* sind die Ergebnisse der Prüfungen ersichtlich. Dem Anhang sind die Kraft-Verschiebungs-Diagramme der Prüfserien beigelegt.

Nr.	Bemerkung	Prüfkörper	FH [N]	Modul [N/mm]
1	Dübel herausgedreht	60° 1	---	---
2		60° 2	11518	28344
3		60° 3	7803	17523
4		60° 4	4900	8760
5	Modul ungültig	60° 5	13379	---
6		60° 6	5216	3502
7		60° 7	5770	14466
8		60° 8	6744	22645
9		60° 9	9029	18898
10	Modul ungültig	60° 10	7239	---
11		60° 11	9553	20378
12		60° 12	4589	7500
13		60° 13	6366	19279
14		60° 14	5511	15934
15		60° 15	10852	19730

*Tab. 1:* Ergebnisse der Prüfungen des Durchdrückwiderstandes unter 60°

---

Nr.	Bemerkung	Prüfkörper	FH [N]	Modul [N/mm]
1		90°_1	6308	4261
2		90°_2	7631	6580
3		90°_3	7134	16443
4		90°_4	7911	10844
5		90°_5	11461	16366
6		90°_6	13856	25402
7		90°_7	8156	11235
8		90°_8	9550	18858
9		90°_9	10157	15953
10		90°_10	6286	6771
11		90°_11	10235	11864
12		90°_12	11750	25396
13		90°_13	7169	9122
14		90°_14	4848	13966
15		90°_15	12452	20996

Tab. 2: Ergebnisse der Prüfungen des Durchdruckwiderstandes unter 90°

### 3.2 Lochleibungsfestigkeit des Dübels aus unstrukturierten Prüfkörpern

Die Lochleibungsprüfungen wurden sowohl mit Kraftwirkungsrichtung in Faserrichtung, als auch rechtwinklig zur Faserrichtung absolviert. Am Prüfkörper *Lochleibung\_90°\_1* wurde auf das Prüfverfahren nach ÖNORM EN 26891 verzichtet um einen ersten Anhaltswert für die Höchstkraft zu ermitteln. Bei sämtlichen Prüfungen trat Versagen durch abscheren des Dübels auf. In *Tab. 3 und Tab. 4* sind die Ergebnisse der Prüfungen mit sämtlichen Deformationswerten zur Auswertung ersichtlich. Dem Anhang sind die Kraft-Verschiebungs-Diagramme der Prüfserien beigefügt.

Nr.	Bemerkung	Prüfkörper	Fmax [N]	fh [N/mm <sup>2</sup> ]	fh,est [N/mm <sup>2</sup> ]
1	Dübel abgeschert	Lochleibung_0°_1	11914	12,095	15,228
2	Dübel abgeschert	Lochleibung_0°_2	12027	12,296	15,336
3	Dübel abgeschert	Lochleibung_0°_3	11431	11,723	15,382
4	Dübel abgeschert	Lochleibung_0°_4	12768	12,885	15,136
5	Dübel abgeschert	Lochleibung_0°_5	12196	12,431	15,289

Nr.	w06 [mm]	w08 [mm]	wi [mm]	wi,mod [mm]	we [mm]	Ki [N/mm <sup>3</sup> ]	Ks [N/mm <sup>3</sup> ]	Ke [N/mm <sup>3</sup> ]
1	0,884	1,339	0,715	0,853	0,242	8,5139	7,1425	25,2172
2	1,067	1,777	0,816	0,987	0,202	7,5162	6,2128	30,3039
3	0,897	1,424	0,711	0,821	0,281	8,6537	7,4907	21,8794
4	0,942	1,418	0,687	0,806	0,252	8,8119	7,5143	24,052
5	0,787	1,185	0,616	0,768	0,229	9,9231	7,9607	26,6777

Tab. 3: Ergebnisse der Lochleibungsprüfungen - Kraft in Faserrichtung

Nr.	Bemerkung	Prüfkörper	Fmax [N]	fh [N/mm <sup>2</sup> ]	fh,est [N/mm <sup>2</sup> ]
1	Dübel abgeschert	Lochleibung_90°_1	13663,8	---	---
2	Dübel abgeschert	Lochleibung_90°_2	11331,3	11,503	15,228
3	Dübel abgeschert	Lochleibung_90°_3	13614,45	13,807	15,212
4	Dübel abgeschert	Lochleibung_90°_4	12527,7	12,667	15,166
5	Dübel abgeschert	Lochleibung_90°_5	11425,65	11,634	15,274

Nr.	w06 [mm]	w08 [mm]	wi [mm]	wi,mod [mm]	we [mm]	Ki [N/mm <sup>3</sup> ]	Ks [N/mm <sup>3</sup> ]	Ke [N/mm <sup>3</sup> ]
1	---	---	---	---	---	---	---	---
2	1,204	1,65	1,051	1,075	0,434	5,7952	5,6638	14,0411
3	1,029	1,603	0,719	0,725	0,414	8,4688	8,3888	14,6927
4	1,301	2,109	0,992	1,048	0,428	6,1133	5,7883	14,1865
5	1,172	1,712	0,981	1,032	0,35	6,23	5,9205	17,4688

Tab. 4: Ergebnisse der Lochleibungsprüfungen - Kraft parallel zur Faserrichtung

### 3.3 Durchdrückwiderstand des Dübels aus strukturierten Prüfkörpern

Der gemessene Widerstand bezieht sich auf eine Gruppe von vier Dübeln, welche durch drei Pfosten gedrückt wurden. Da auch bei vollflächiger Auflage des Prüfkörpers am Maschinentisch bzw. vollflächiger Lasteinleitung kein reines Durchdrücken des Dübels sondern immer auch ein Versagen durch Rissbildung in den Pfosten auftrat war ein Messen der Verformung nicht möglich. In *Tab. 5* sind die Höchstkräfte der Prüfungen aufgelistet. Fotos zum Versuch sind dem Anhang beigefügt.

<b>Nr.</b>	<b>Bemerkung</b>	<b>Prüfkörper</b>	<b>Fmax [N]</b>
1	Prüfkörper gespalten	Druck_4D_1	15904
2	Prüfkörper gespalten	Druck_4D_2	17895

*Tab. 5:* Ergebnisse des Durchdrückwiderstandes an strukturierten Wandelementen

### 3.4 Schubprüfungen an Wandscheiben

Die Prüfungen erfolgten an Wandelementen mit 12 bzw. 33 cm Dicke. Es wurden jeweils zwei Prüfkörper geprüft wobei sich diese in der Ausrichtung der Dübel unterschieden. Die Prüfkörper mit Orientierung der Dübel von  $90^\circ$  zu den Pfosten sind mit *-gerade-* in der Prüfkörperbezeichnung gekennzeichnet. Jene mit verschränkter Verdübelung sind mit *-schräg-* gekennzeichnet. Die Schubfeldmessung erfolgte über ein quadratisches Feld mit einer Anfangsdiagonalenlänge von 2750 mm. Die Wirkungslinie der eingeleiteten Kraft entsprach der Diagonale des Schubfeldes. Die im Anhang abgebildeten Grafiken zeigen den Verlauf der Kraft über die Abnahme der Diagonalenlänge in Kraft-richtung. Der ermittelte Modul wurde, wenn möglich, im Bereich von 10% bis 40% der aufgetretenen Höchstkraft ermittelt. Da diese zumeist erst bei relativ hohen Verformungen auftrat musste während der Prüfungen entlastet und der Kolben der Belastungseinrichtung nachgesetzt werden. Diese Maßnahme zeichnet sich in den Entlastungsschleifen der Kraft-Verformungsdiagramme ab. Auch wurde aus Sicherheitsgründen die Messtechnik zur Verformungsmessung vor Erreichen der Höchstkraft entfernt, so dass keine durchgehende Arbeitslinie erfasst werden konnte. Dies ist jedoch für die Ermittlung der benötigten Ergebnisse irrelevant. Die Ergebnisse der vier Prüfungen sind in *Tab. 6* und *Tab. 7* aufgelistet.

Nr.	Bemerkung	Prüfkörper	FH [kN]	Modul [kN/mm]
1		Wand_12cm_gerade	112,67	0,5006
2	lokales Versagen	Wand_12cm_schräg	73,53	1,9794

*Tab. 6:* Ergebnisse der Schubprüfungen an 12 cm dicken Wandscheiben

Nr.	Bemerkung	Prüfkörper	FH [kN]	Modul [kN/mm]
1		Wand_33cm_gerade	216,75	0,6574
2		Wand_33cm_schräg	181,94	2,8295

*Tab. 7:* Ergebnisse der Schubprüfungen an 33 cm dicken Wandscheiben

4 Anhang - Diagramme und Schadensbilder

4.1 Durchdrückwiderstand des Dübels aus unstrukturierten Prüfkörpern

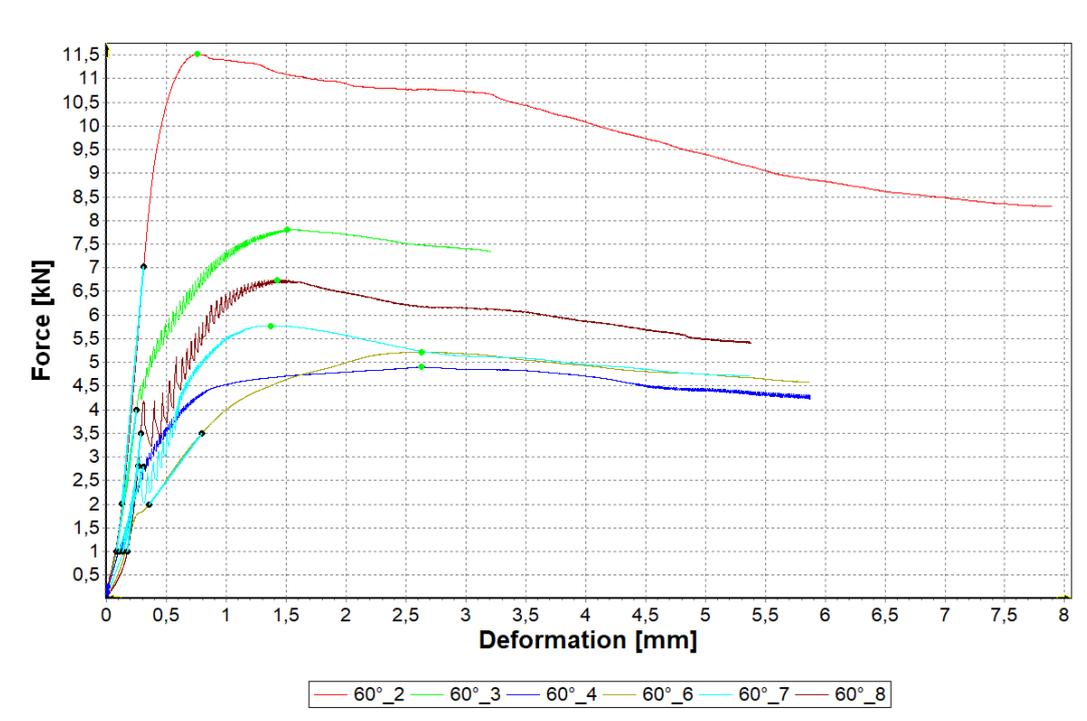


Abb. 2: Kraft-Verformungsdiagramm Durchdrückwiderstand 60° - Prüfkörper 2-8

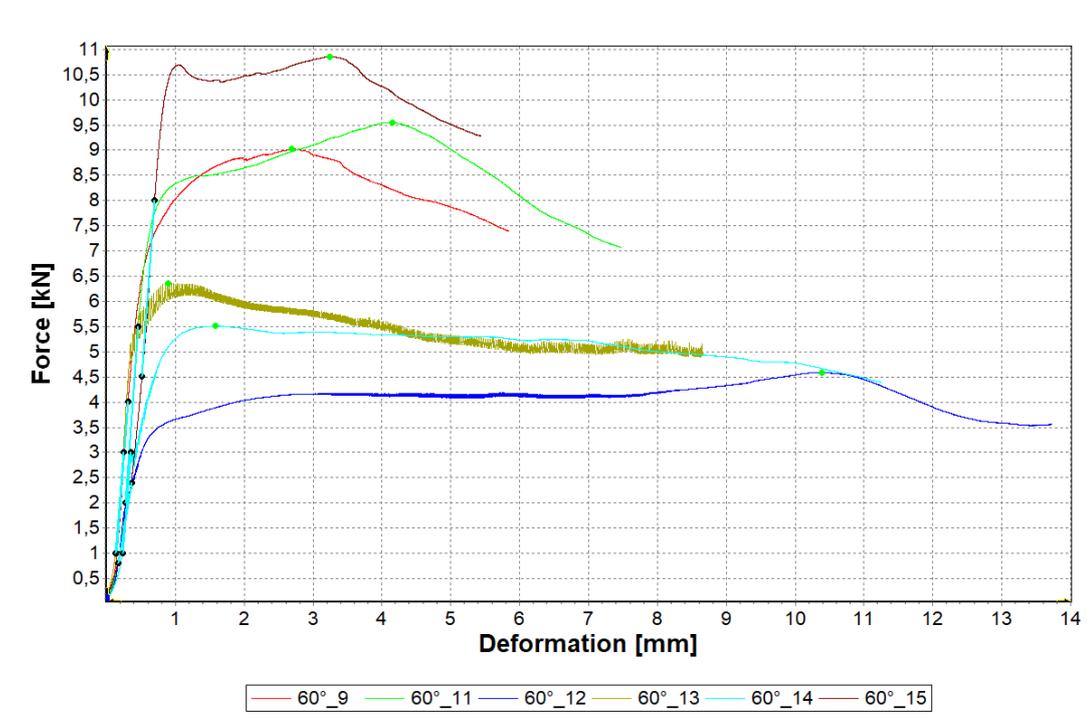


Abb. 3: Kraft-Verformungsdiagramm Durchdrückwiderstand 60° - Prüfkörper 9-15

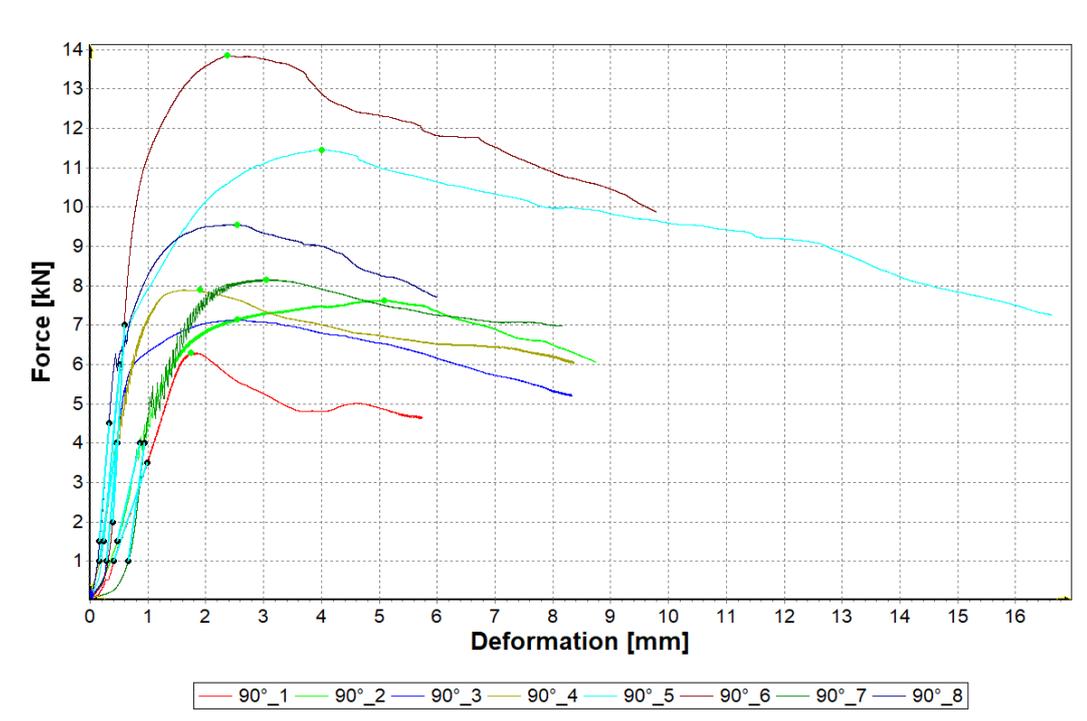


Abb. 4: Kraft-Verformungsdiagramm Durchdrückwiderstand 90° - Prüfkörper 1-8

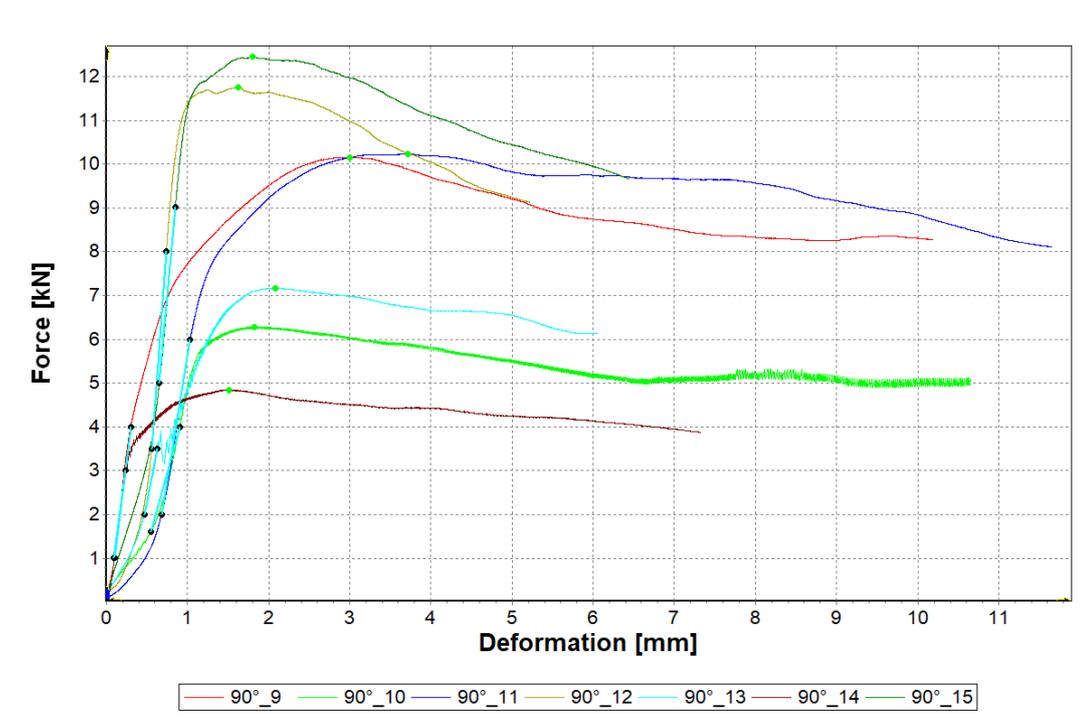


Abb. 5: Kraft-Verformungsdiagramm Durchdrückwiderstand 90° - Prüfkörper 9-15

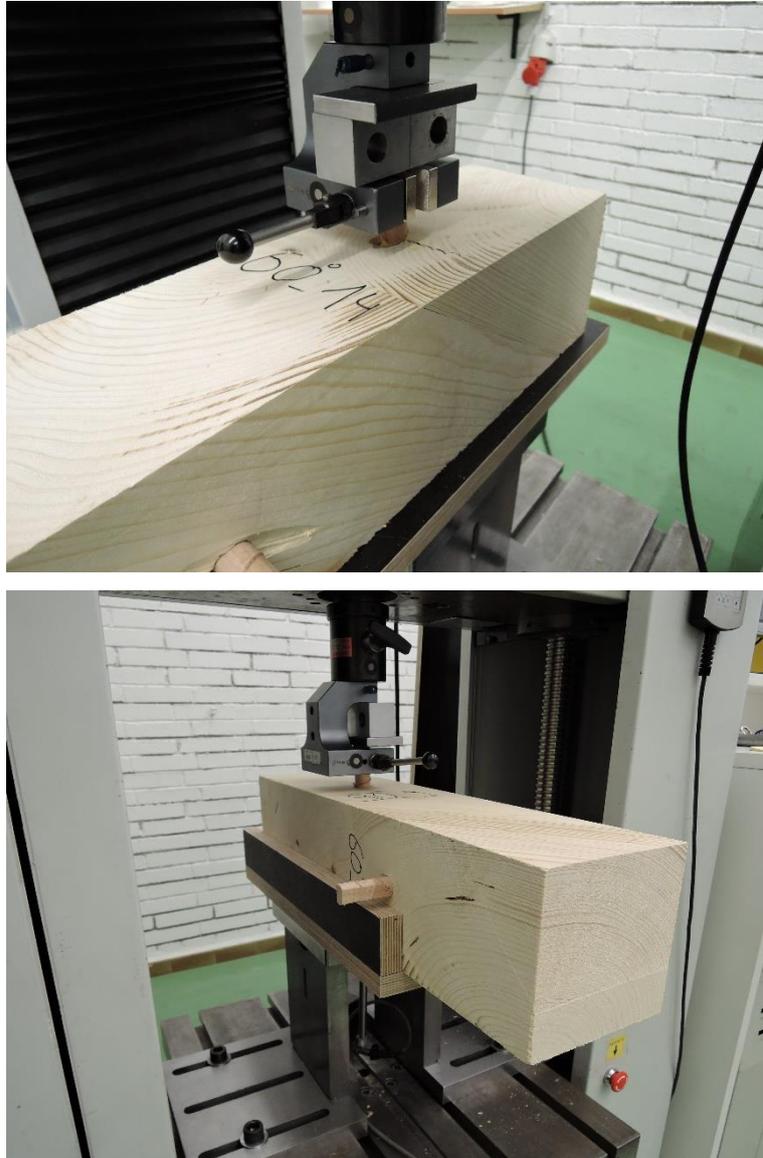


Abb. 6: Versuchssetup zur Ermittlung des Durchdruckwiderstandes am unstrukturier-  
ten Prüfkörper

4.2 Lochleibungsfestigkeit des Dübels aus unstrukturierten Prüfkörpern

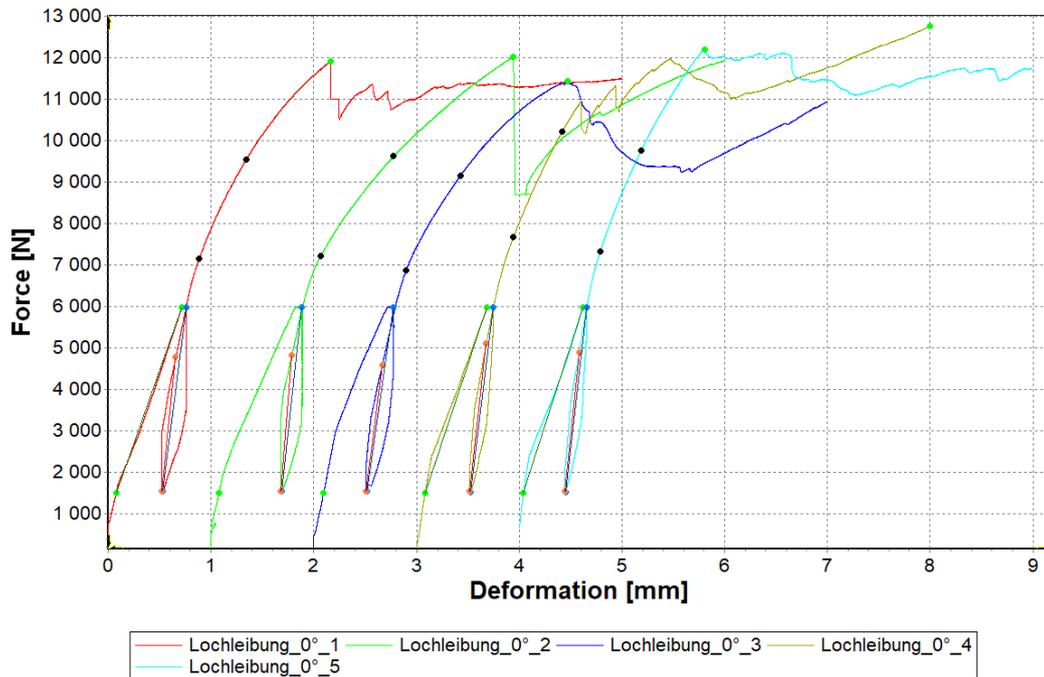


Abb. 7: Kraft-Verformungsdiagramm Lochleibungsprüfung 0°

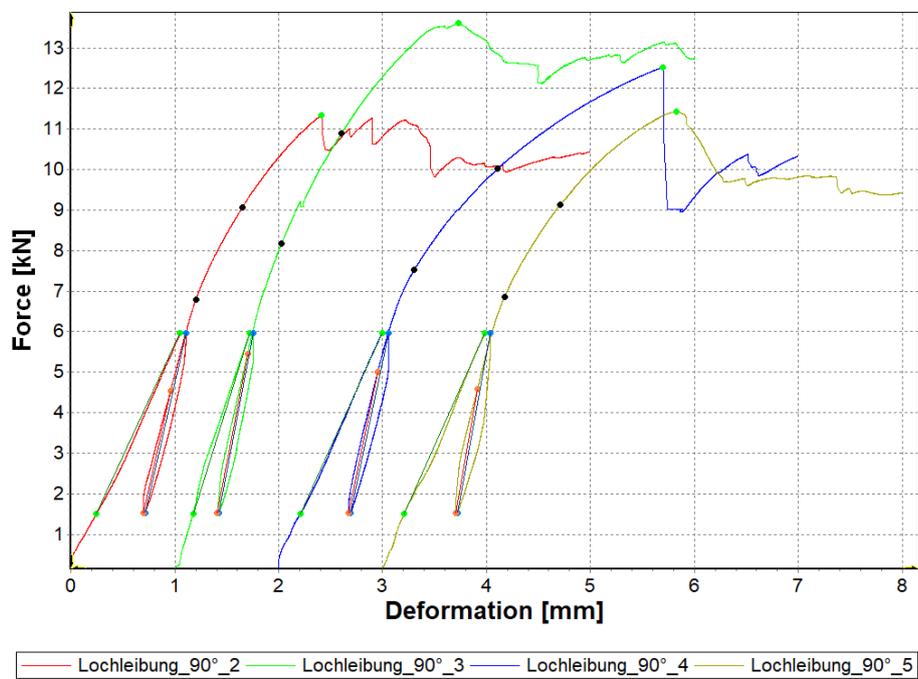


Abb. 8: Kraft-Verformungsdiagramm Lochleibungsprüfung 90°

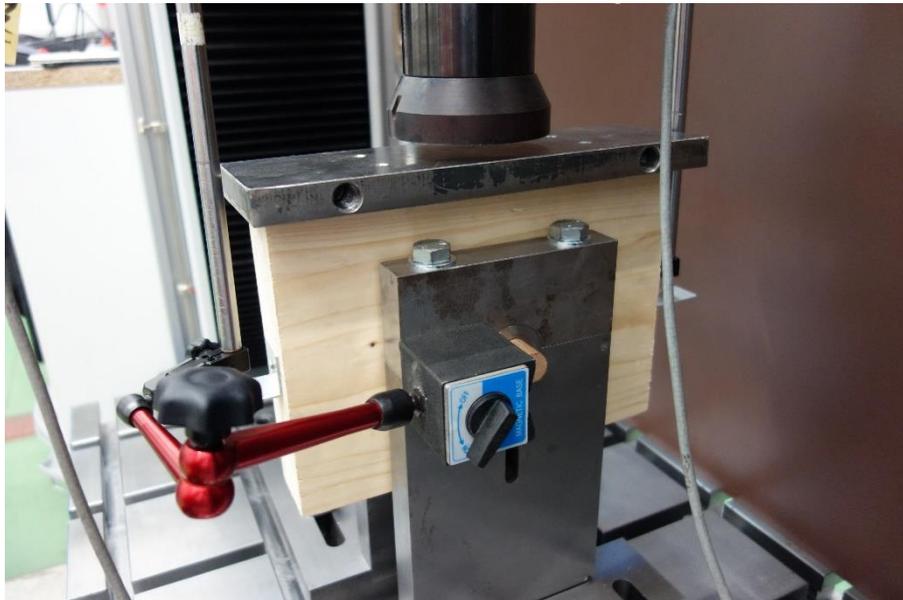


Abb. 9: Versuchssetup Lochleibungsprüfung 90° zur Faser



Abb. 10: Versagen durch Abscheren des Dübels

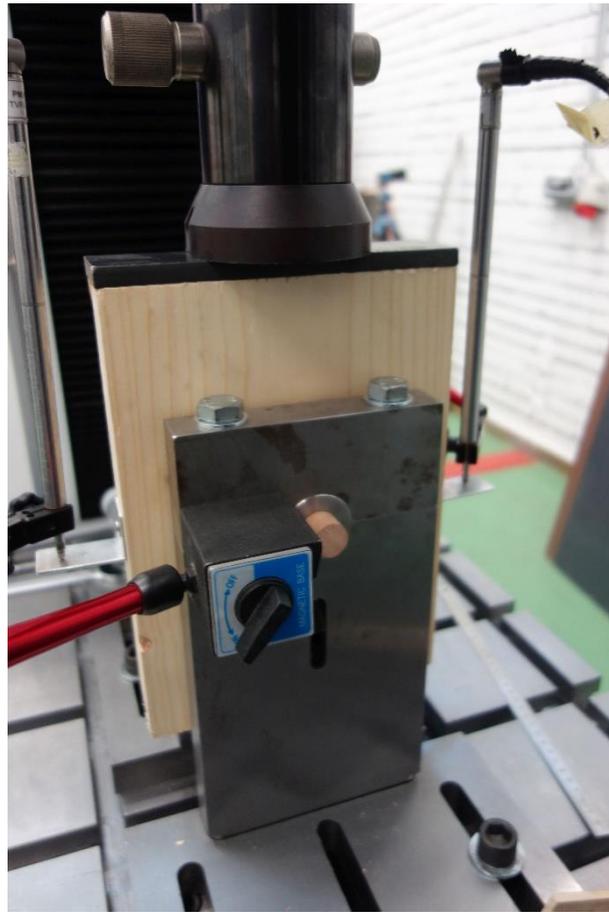


Abb. 11: Versuchssetup Lochleibungsprüfung in Faserrichtung

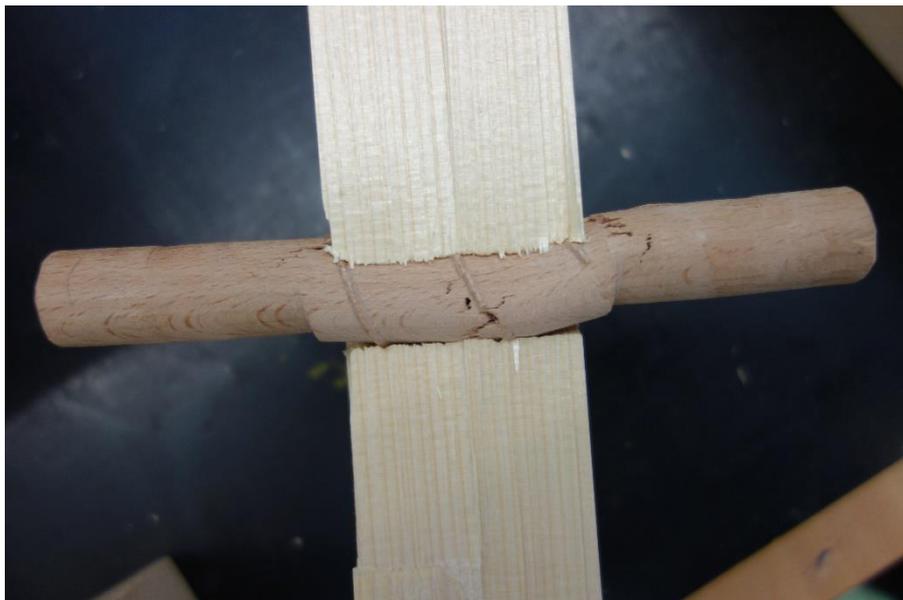


Abb. 12: Versagensbild der Lochleibungsprüfung

## 4.3 Durchdrückwiderstand des Dübels aus strukturierten Prüfkörpern

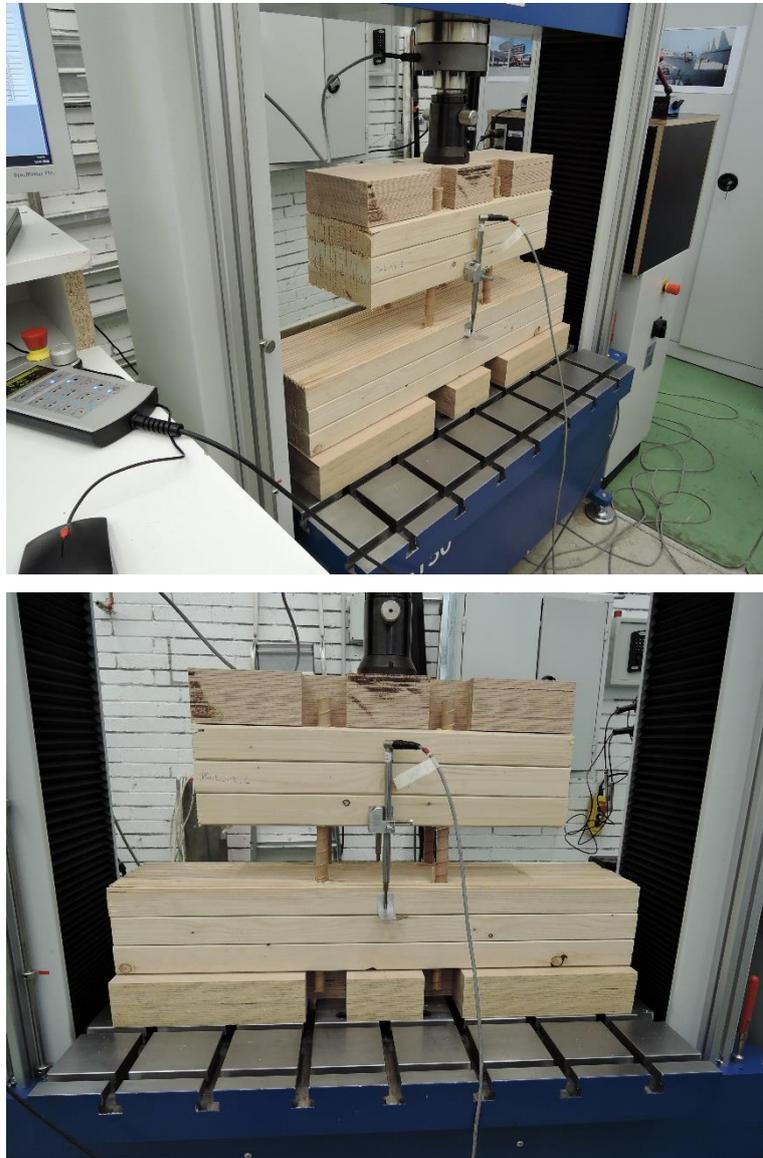


Abb. 13: Versuchsssetup Durchdrückwiderstand an Strukturierten Prüfkörpern

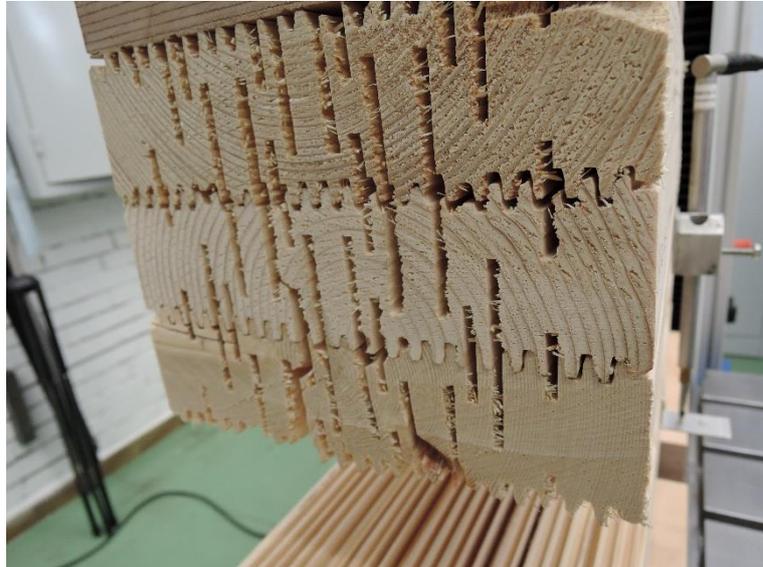
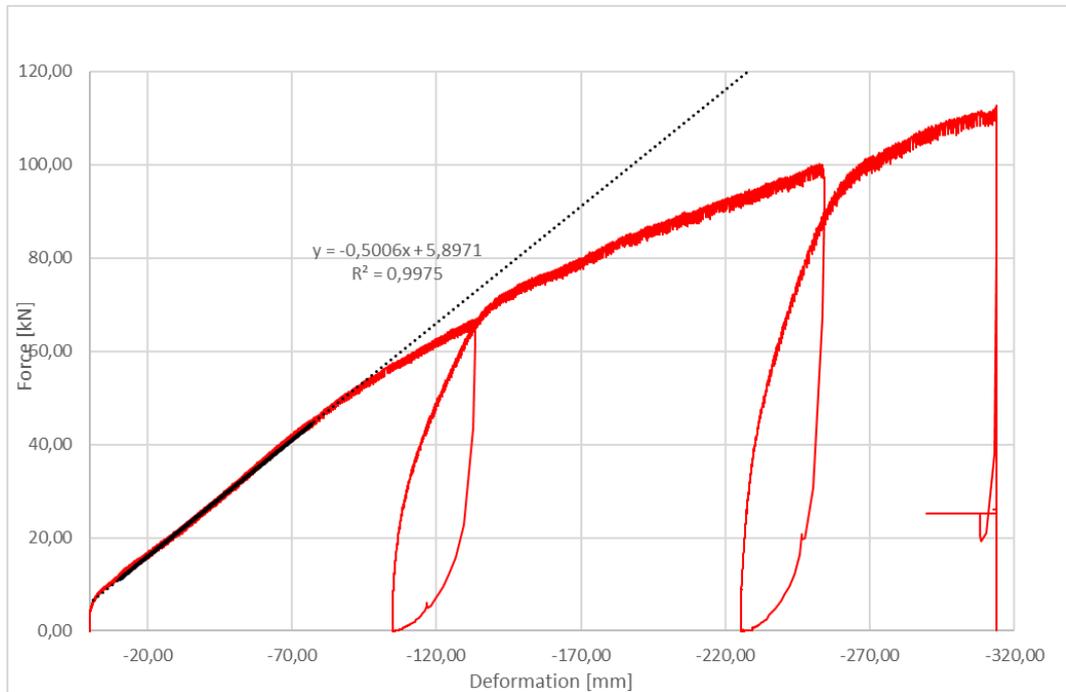
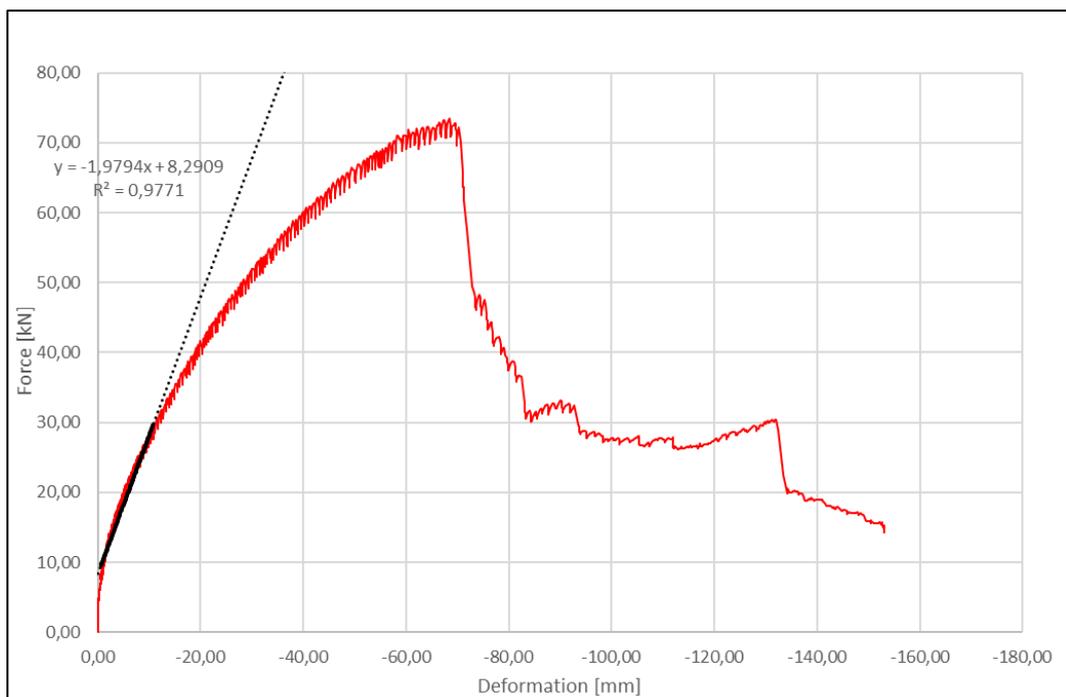
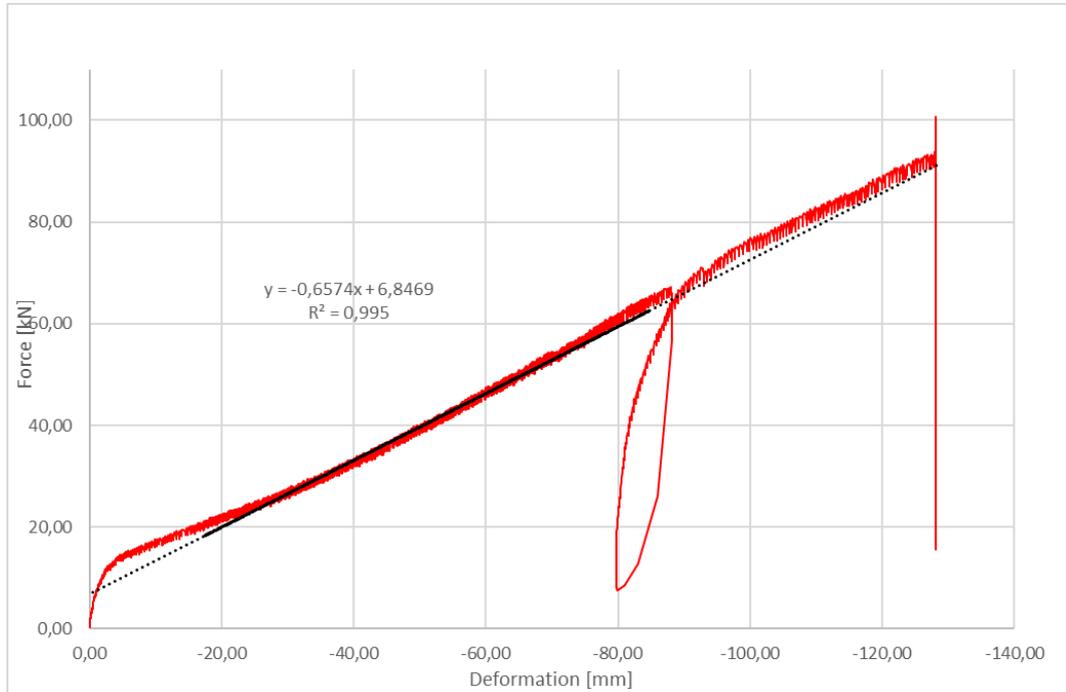


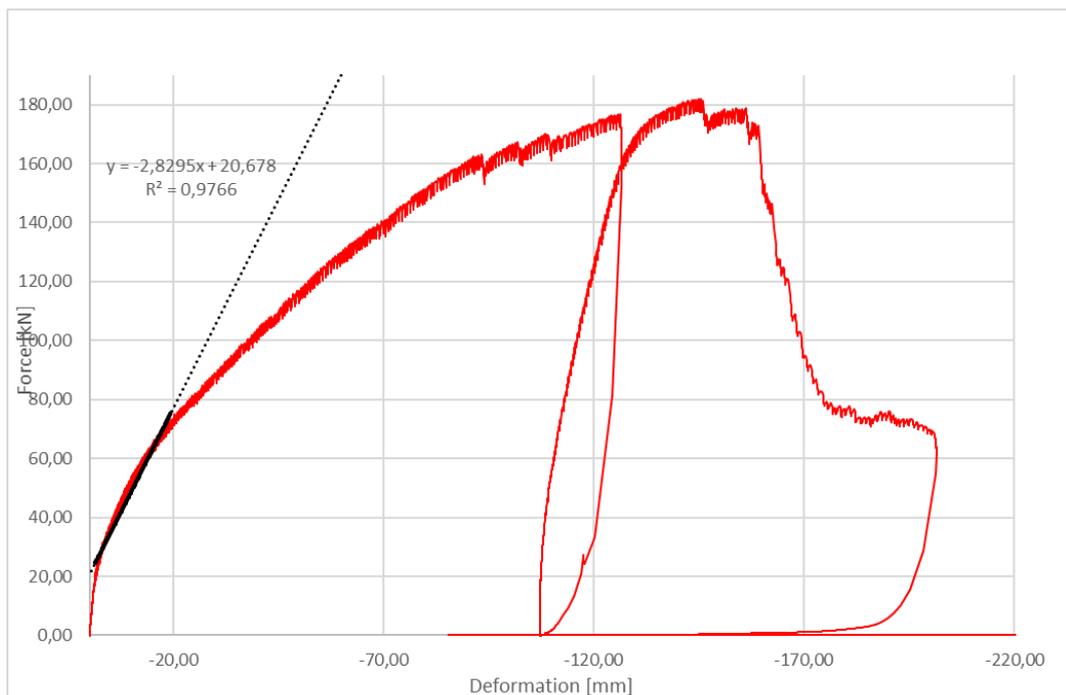
Abb. 14: Rissbildung im Prüfkörper

## 4.4 Schubprüfungen an Wandscheiben

Tab. 8: Kraft-Verformungsdiagramm **Wand\_12cm\_gerade**Tab. 9: Kraft-Verformungsdiagramm **Wand\_12cm\_schräg**



Tab. 10: Kraft-Verformungsdiagramm **Wand\_33cm\_gerade** (Höchstkraft nach Entfernen des Verformungsmesssystems in separatem Versuch ermittelt)



Tab. 11: Kraft-Verformungsdiagramm **Wand\_33cm\_gerade**



Abb. 15: Für die Schubprüfungen verwendete Belastungseinrichtung



Abb. 16: Schadensbilder



Abb. 17: Schadensbilder