

# **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Verbindungsmittel</b>	<b>2</b>
1.1	Schrauben . . . . .	2
1.1.1	Schraubentype: WR – dxL . . . . .	3
1.1.2	Schraubentype: TWIN-UD dxL Sichel . . . . .	4
1.1.3	Schraubentype: WT – T dxL . . . . .	4
1.1.4	Schraubentype: WR – T dxL . . . . .	5
1.1.5	Versuchsaufbau für Schrauben . . . . .	6
1.1.6	Versuchsauswertung . . . . .	6
1.2	Kleber . . . . .	7
1.2.1	Einteilung . . . . .	7
1.2.2	Vor- und Nachteile der Klebverbindungen . . . . .	8
1.3	Kleberversuche . . . . .	9
1.3.1	Ermittlung des Klebermenge mit der Sandfleckmethode . . . . .	9
1.4	Haftzugprüfung . . . . .	10
1.4.1	Versuchsvorbereitung . . . . .	11
1.4.2	Versuchsdurchführung . . . . .	11
1.5	Kleberversuchsreihe 1 . . . . .	12
1.6	Kleberversuchsreihe 2 . . . . .	14

# 1 Experimentelle Untersuchungen

Im vorliegenden Kapitel werden die Bestandteile und die Herstellung der Bauteilversuche beschrieben.

## 1.1 Allgemeine Beschreibung der Bauteilversuche

Die Schichtenabfolge und die Schichtenhöhe bzw. die Bauteilhöhe war bei allen Versuchen unverändert. In Abbildung ?? ist der Sandwichaufbau mit den verwendeten Dicken dargestellt.

1. SVB
2. Velox
3. BSP

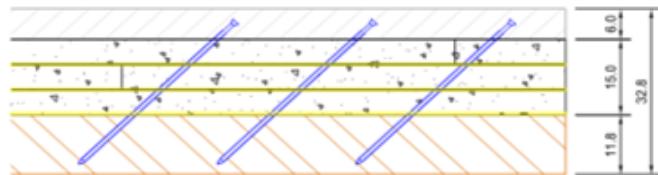


Abbildung 1.1: Sandwichaufbau

### 1.1.1 Verwendete Bauteilkomponenten

#### 1.1.1.1 Selbstverdichtender Beton, SVB

Selbstverdichtender Beton ist ein besonders fließfähiger Beton, der sich selbst entlüftet und eine ebene Oberfläche bildet. Durch die Fließfähigkeit ist ein besonders guter Verbund mit dem porösen Werkstoff Holzbeton (Velox) gewährleistet. Die Betonschicht wurde auf eine minimale Dicke von 6 cm reduziert. Das Limit ergibt sich aus der Verankerungslänge der Schrauben (4 cm) zuzüglich einer Betondeckung von 2 cm. Die Betonrezeptur hat Kirchmayer [] ausgearbeitet.

#### 1.1.1.2 Holzspanbeton/ Holzleichtbeton

Holzspanbeton besteht aus den Komponenten Zement, Sägespänen, Wasser, Additiven und Zuschlagstoffen. Die Auswahl des Materials geht auf die Vorversuche von Kirchmayer bzw. Schernberger zurück. Die Abmessungen der Holzbetonschicht ergab sich aus einem Vielfachen der Dicke der Velox-Platten (50 mm) und aus Vorberechnungen mit den FEM-Programm „Sofistik“. Die Veloxplatte ist ein Industrieprodukt, das ausführlich in der Ausarbeitung von Kirchmayer beschrieben wird.

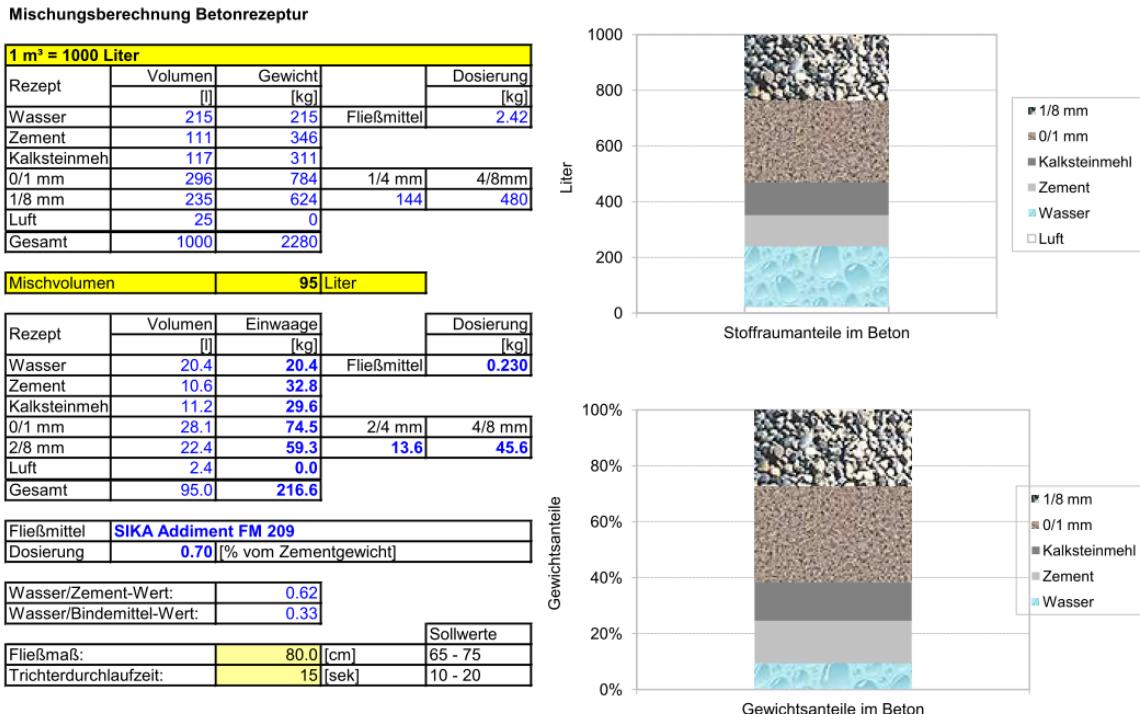


Abbildung 1.2: Beton-Mischrezeptur [2], mit Okamurarechner

### 1.1.1.3 Brettsperrholz, BSP

Die Brettsperrholzplatte ist ein flächiges Holzprodukt aus mindestens drei rechtwinkelig zueinander verleimten Schichten. BSP wird im Holzmassivbau eingesetzt und kann mit großen Abmessungen hergestellt werden. Es wurde auch schon in den Vorversuchen von Kirchmayer angewendet. Die Vorteile hat ebenfalls Kirchmayer [1] schon ausgearbeitet.

Es wurde für alle Bauteilversuche das Produkt BSP 118 3s DL ind. verwendet. In Abbildung ?? ist ein Beispielbild einer fünf-schichtigen BSP-Platte dargestellt.

### 1.1.1.4 Verbindungsmittel

Um einen kraftschlüssigen Verbund der einzelnen Bauelemente herstellen zu können, kamen verschiedene Verbindungsmittel zur Anwendung. Aus den Vorversuchen von Kirchmayer ist hervorgegangen, dass die besten Verbundergebnisse durch Schrauben und Kleber erzielt worden sind. Dieser Ansatz wurde weiter verfolgt.

- Schrauben

Die verwendeten Schrauben sind durch die Versuche ( Siehe Kapitel 2) ausgewählt worden.

- SFS Intec WR-T-9x400

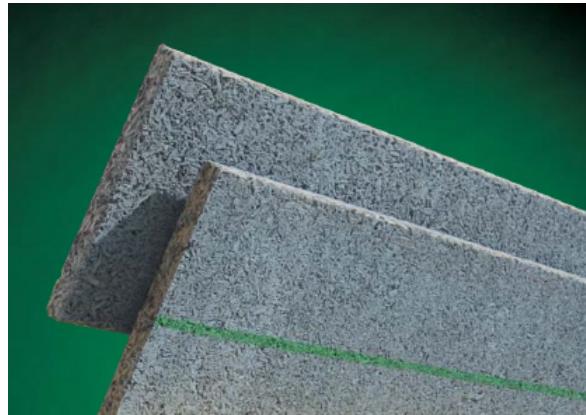


Abbildung 1.3: Holzspanplatte WS 50 der Firma Velox



Abbildung 1.4: fünfschichtige Brettsperrholzplatte (BSP) der Fa. Mayr-Melnhof

- Kleber

Die angeführten Kleber sind im Kapitel 2 beschrieben.

- Sikadur-31 AUT Normal
- SikaTop-109 ElastoCem
- Sikatop-107 Seal

### **1.1.2 Herstellung des Sandwichaufbaus**

Der Zweikomponenten-Kleber wurde mit dem Mischverhältnis, das vom Hersteller angegeben wird, abgemischt. Die erste Kleberschicht wurde auf die BSP-Platte aufgetragen. Das Auftragen erfolgte mit einer 8 mm Zahnpachtel. Für die Verarbeitungszeit des Klebers war laut Datenblatt 45 min Topfzeit vorgegeben. Auf die Kleberschicht wurden die

Velox-Platten aufgelegt. Dieser Schritt wurde drei mal wiederholt.



Abbildung 1.5: Kleberauftrag auf die  
BSP-Platte



Abbildung 1.6: Einschrauben der  
Schrauben

Im nächsten Schritt wurde das Bohrmuster auf der obersten Velox-Platte aufgezeichnet. Die Schrauben wurden mit einem Hilfswinkel (Holzstück) und einem Hammer ange setzt um den Einschraubwinkel ( $45^\circ$ ) einzuhalten. Die Schrauben wurden anschließend ohne Vorbohren mit einer Bohrmaschine in den Bauteil eingebohrt, bis die Schrauben nur noch 4 cm aus der oberen Velox-Schicht herausstanden.

Der letzte Schritt vor dem Betonieren war das Anbringen der Schalung. Es wurden Schalungsbretter auf eine Höhe von 20 cm zugeschnitten. Die Schalung wurde mit einem Überstand von 6 cm über der letzten Veloxschicht angebracht. Damit man den Überstand allseitig gleich hält, wurden zwei Holzstücke mit den geforderten 6 cm gefertigt. Somit hatte sich das Einrichten der Bretter einfach gestaltet. Die Bretter wurden an die Velox-Schicht angeschraubt .

Abschließend wurde der Beton hergestellt. Die einzelnen Bestandteile wurden nach der Betonrezeptur [Abbildung: ??] exakt eingewogen und mit einem Zwangsmischer vermischt. Der Beton wurde von Hand aufgebracht. Zum Schluss wurde der Beton mit einer Latte abgezogen und mit einem Schwert geglättet.



Abbildung 1.7: Befestigung der Schalung am Velox



Abbildung 1.8: Einbringen und Abziehen des SVB

### 1.1.3 Versuchsaufbau und Durchführung

Die Abbildung ?? zeigt die Versuchsanordnung. Es handelt sich um einen 4-Punkt-Biegeversuch. Dabei wird die Prüfprobe auf zwei Auflagen (rote Dreiecke) positioniert und in den Viertel-Punkten mit der Kraft ( $F$ ) belastet. Die Momentenlinie ist zwischen den Krafteinleitungspunkten konstant und stellt eine Umhüllende des parabelförmigen Momentenverlaufs, einer äquivalenten Flächenlast dar.

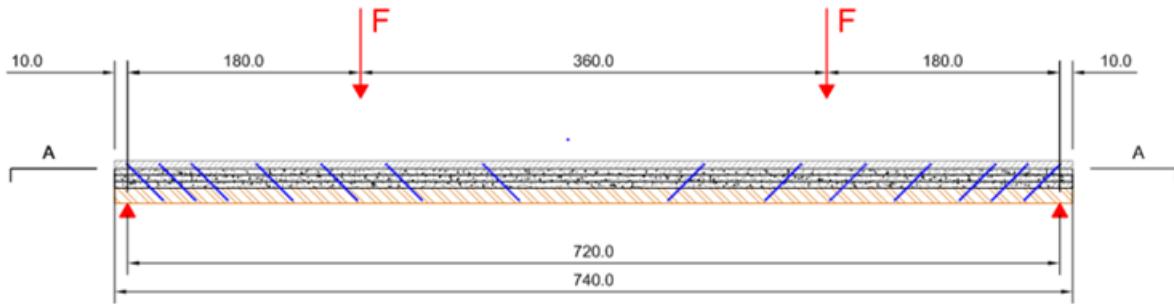


Abbildung 1.9: Versuchsaufbau mit Lagerung und Lasteinleitung

#### 1.1.3.1 Verwendete Messmittel und deren Anordnung

Die Wegaufnehmer für die Trägerdurchbiegung wurden in der Trägermitte und unter der Lasteinleitung angeordnet. Weiters wurde auf beiden Trägerenden Wegaufnehmer angebracht, um die Verschiebung zwischen Betonschicht und der BSP-Schicht zu messen. Bei dem ersten und zweiten Großbauteilversuch wurde die Verschiebung noch manuell von den Messuhren abgelesen. Bei den Bauteilversuchen 3 und 4 wurden digitale Wegaufnehmer verwendet, die anschließend beschrieben werden. In der Abbildung ?? sind die Messpunkte skizziert und beschriftet.

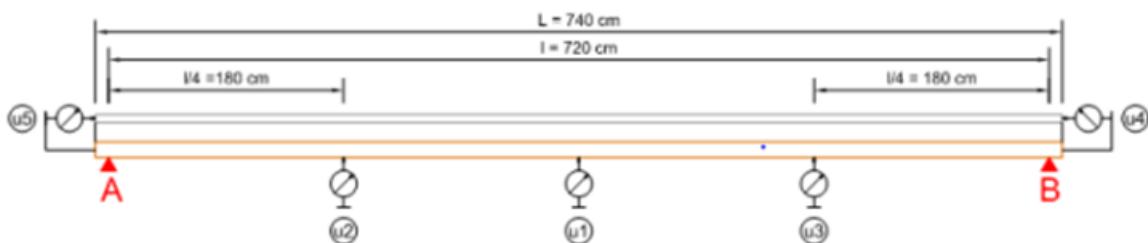


Abbildung 1.10: Anordnung der Messpunkte beim Bauteilversuch

- u1.1/ u1.2: Durchbiegung in Feldmitte auf beiden Seiten des Trägers
- u2/u3: Durchbiegung bei 1/4

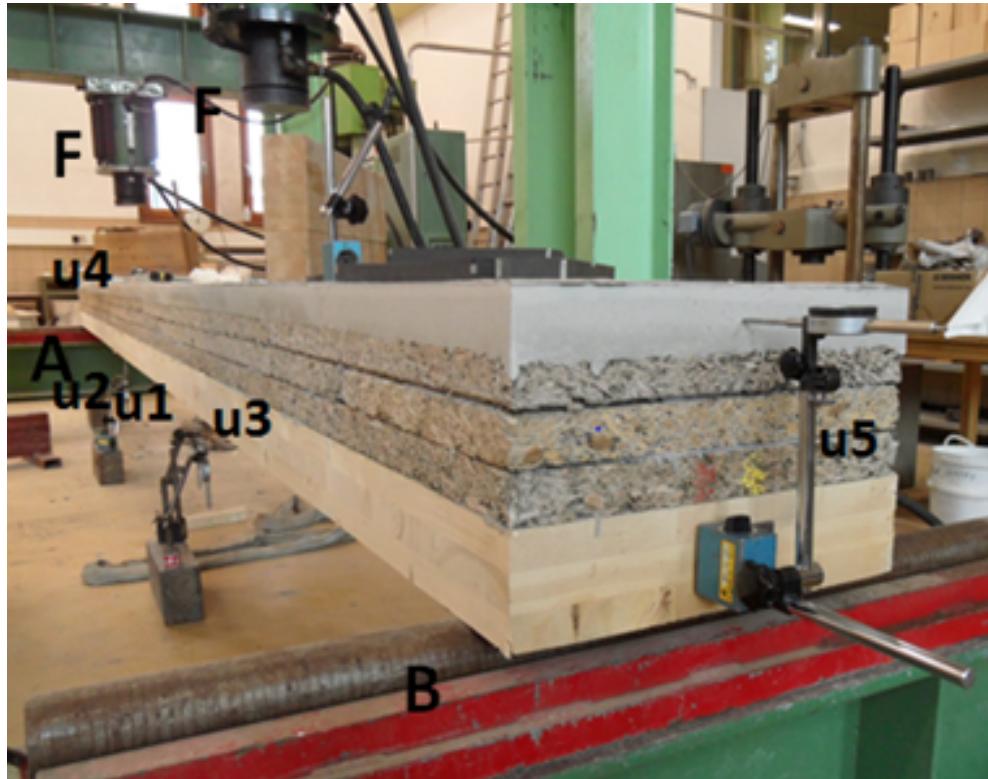


Abbildung 1.11: Mess- und Auflagerpunkte beim Bauteilversuch

- u4/u5: Verschiebung der Betonschicht gegenüber der Holzschicht an beiden Enden des Trägers
- Krafteinleitung F bei l/4
- A/B: Auflager

### 1.1.3.2 Wegaufnehmer

In diesem Abschnitt werden die die verschiedenen Wegaufnehmer beschrieben.

**Analoge Wegaufnehmer** Es wurden analoge Messuhren der Fa. Käfer verwendet. Die Messuhren haben einen Messweg von 7 cm und eine Messgenauigkeit von 1/100 mm. Auf einen Standfuss wurden die magnetischen Halteeinrichtungen angebracht, welche die Messuhren in der vorgesehenen Position hielten. Der gesamte Aufbau ist in Abbildung ?? dargestellt.

Die Befestigung für die horizontale Verschiebung wurde ebenfalls mit der magnetischen Halteeinrichtung bewerkstelligt. Zuvor musste noch eine Stahlplatte an der BSP-Platte angeschraubt werden, damit die Halteeinrichtung angebracht werden konnte. Der gesamte Aufbau kann Abbildung ?? entnommen werden.



Abbildung 1.12: Messuhren für vertikale Verschiebung, befestigt am Standbein

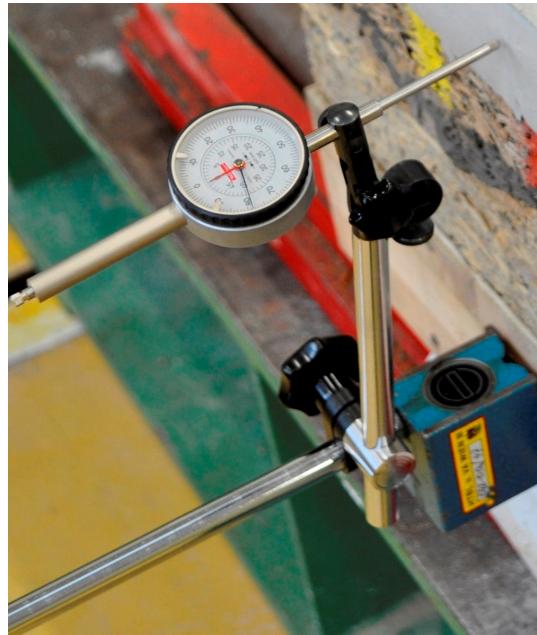


Abbildung 1.13: Messuhren für horizontale Verschiebung am Bauteilende

**Digitale Wegaufnehmer** Es wurden digitale Seilzug-Wegsensoren der Fa. MICRO-EPSILON verwendet [Serie WDS, Baureihe P60, 1000 mm]. Die Messuhren besaßen einen maximalen Messweg von 100 cm und haben eine Messgenauigkeit von 0,24 mm. Die Haltevorrichtung für die vertikale Verschiebung, wurde ebenfalls mit dem Standfuss ausgeführt. In den Standfuss wurde eine Metallstange eingeführt und mit kleinen Holzkeilen fixiert. Der Wegsensor wurde mit M4 Schrauben, Flügelmuttern und einer Holzplatte an der Metallstange montiert. Das Seil wurde mit einer Holzschraube an der BSP-Platte befestigt. Der gesamte Aufbau ist in Abbildung ?? dargestellt.

Für die Messung der horizontalen Verschiebung, wurde eine Haltevorrichtung hergestellt. Die Vorrichung wurde mit Schrauben auf der BSP-Platte angeschraubt. Der Wegsensor wurden ebenfalls mit M4 Schrauben, Flügelmuttern und einer Holzplatte, an der Haltevorrichtung befestigt. Der gesamte Aufbau kann aus Abbildung ?? entnommen werden.

### 1.1.3.3 Durchführung des Versuchs

Der Aufbau des Bauteilversuchs bzw. die Abmessungen des Bauteils ist Abbildung ?? zu entnehmen. Für die Bauteilversuche 1 und 2 wurde eine Belastungsgeschwindigkeit von etwa 4 kN/min gewählt. Das Ablesen erfolgte in Schritten von 2 kN. Bei den Bauteilversuchen 3 und 4 wurde eine vorgegebene Belastungskurve gewählt. Die Kurve wurde der Norm [ÖN EN 380] entnommen. Das Grundverfahren der Belastung besteht aus den 7 Verfahrensstufen.

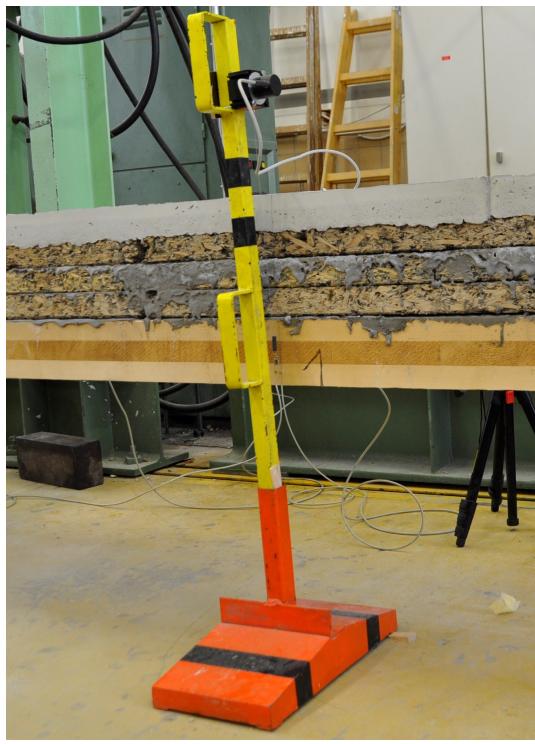


Abbildung 1.14: Wegaufnehmer für vertikale Verschiebung mit Standbein und Stange



Abbildung 1.15: Wegaufnehmer für horizontale Verschiebung am Bauteilende

### **Belastungserklärung**

- $G_1$  ... Eigengewicht des Bauteils
- $G_2$  ... Gewicht des erforderlichen Aufbaus (Dämmung, Estrich, Bodenbelag)
- $Q$  ... veränderliche Last lt. EC1 für Wohnräume
- Belastungsgeschwindigkeit: 1,5 kN/min
- Die Lastangaben beziehen sich auf einen Zylinder.

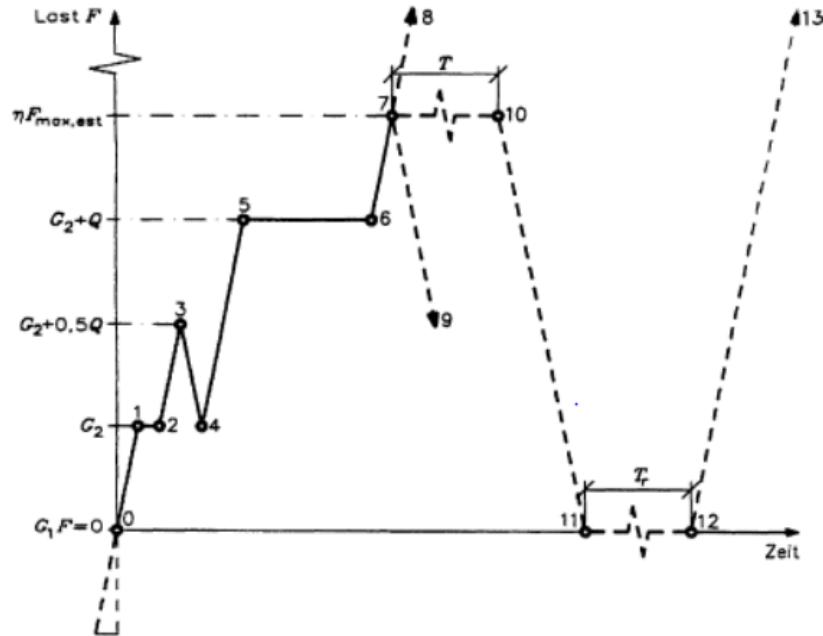


Abbildung 1.16: Schematische Belastungskurve, nach []

Tabelle 1.1: Grundlagen der Belastung, []

Verfahrensstufe	Belastungsverfahren	Zeit in [s]	F [kN]
0	Es wirkt nur $G; F=0$		
0-1	$F=G$ aufbringen		2,70
1-2	$F=G$ konstant halten	120	2,70
2-3	$F=G+0,5*Q$ aufbringen	120	5,40
3-4	0,5 Q entlasten	120	2,70
4-5	$F=G+Q$ aufbringen	240	8,10
5-6	$F=G+Q$ konstant halten	600	8,10
6-8	$F=$ steigern bis Bruch		
max. Belastungsgeschwindigkeit 0,25Q je 60 sec			

## 1.2 Bauteilversuche

### 1.2.1 Allgemeines

Die Tabelle ?? gibt einen Überblick über die Bauteilversuche und die Unterschiede im Aufbau. Grundlage für die Änderungen der Bauteilkomponenten waren der Gedanke die Material- und Herstellungskosten zu reduzieren.

Tabelle 1.2: Versuchsprogramm

Übersicht				
Versuch	Abmessungen l x b x h in [m]	Schraubenanzahl (Fa. SFS)	Kleber (Fa. Sika)	Aushärtezeit Tage
1	7,40 x 0,50 x 0,33	28	Sikadur 31	14
2	7,40 x 0,50 x 0,33	8	ElastoCem 109	21
3	7,40 x 0,50 x 0,33	12	Sikatop 107	28
4	7,40 x 0,50 x 0,33	-	Sikatop 107	28

### 1.2.2 Bauteilversuch 1 (BT 1)

#### 1.2.2.1 Versuchskörper

Der grundsätzliche Schichtenaufbau ist in Abschnitt 2.1.2 beschrieben.

Die Anordnung der Schrauben ist der Abbildung ?? zu entnehmen. Die Schrauben wurden analog zum Verlauf der Querkraftlinie zufolge einer Gleichlast angeordnet, d.h. im Auflagerbereich ist der Schraubenabstand geringer als in Trägermitte. Es wurde zwischen der Holz und Holzbetonschicht sowie zwischen den Holzbetonschichten der Kleber SikaDur 31-A Normal verwendet.

Die Durchbiegungen wurden an den Rändern des Trägers gemessen. Um eine auftretende Torsion während des Versuchs erfassen zu können, wurden in der Trägermitte zwei Messuhren an den Ränders angebracht.

#### 1.2.2.2 Versuchsablauf

Der Versuch wurde manuell kraftgesteuert durchgeführt, die Belastungsgeschwindigkeit betrug etwa 4 kN/min. Bei der Laststufe von 58 kN (je Zylinder) wurde ein Haltepunkt eingefügt, da eine Keilzinkung versagte (Abbildung ??).

Bei weiterer Belastung wurde die Maximallast von 78 kN erreicht. Nach dieser Laststufe erhöhte sich die Durchbiegung sprunghaft bei gleichzeitiger Reduktion der aufgebrachten Last.

Um einen vollständigen Bruch des Systems herbeizuführen, wurde der Bauteil nochmals belastet. Der Bruch trat bei einer Last von 48 kN ein (Abbildung ??).

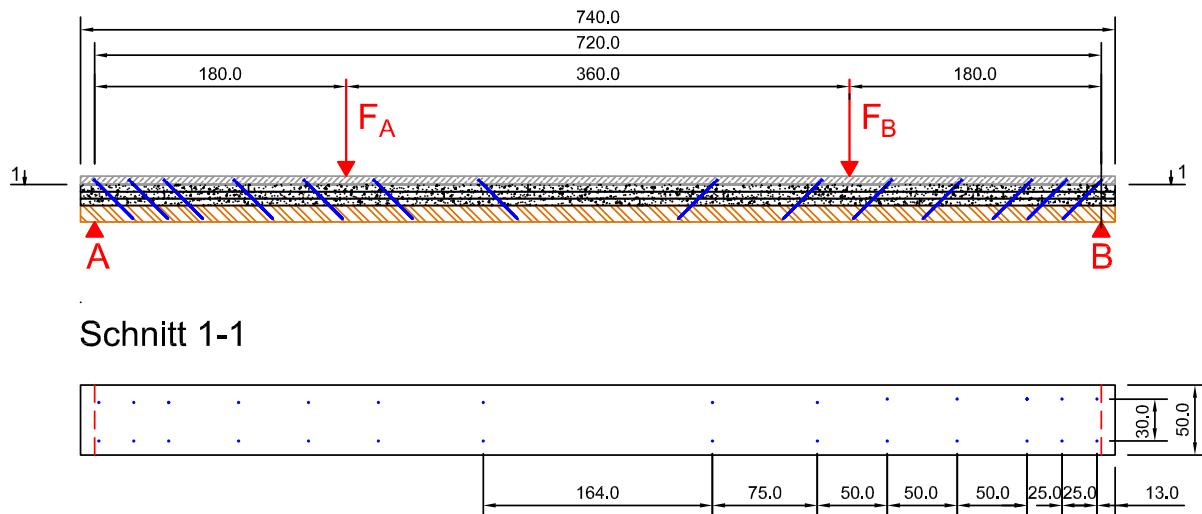


Abbildung 1.17: Darstellung des BT 1, mit Verbindungsmittel und Lasteinleitung

### 1.2.2.3 Versagensbeschreibung

Das erste Versagen wurde bei einer Last von 58 kN festgestellt. Unter  $F_A$  brach eine Keilzinkung der Brettsperrholzplatte. In Abbildung ?? ist der Schaden am Bauteil dargestellt. Im Diagramm in Abbildung ?? ist zu erkennen, dass vor dem erreichen dieser Laststufe bereits eine erhöhte horizontale Verschiebung zwischen Beton und Holz bei Auflager A stattfand.

Das Versagen der Klebefuge führte zu einer Spannungsumlagerung in den Teilquerschnitten Beton und Holz. Durch die aus der Spannungsumlagerung erhöhten Randspannungen brach die Keilzinkung unter dem Lasteinleitungspunkt  $F_A$  (Abbildung ??).

Beim weiteren Belasten waren Risse im Beton zwischen der Kraft  $F_A$  und dem Auflager A entstanden. Die maximale Belastung betrug 78 kN.

Durch den Bruch konnte danach die Fuge zwischen Holzspanbeton und Holz betrachtet werden (Abbildung ??). Es zeigte sich, dass ca. ein Viertel der Fläche ungenügenden Verbund hatte. Ein Grund für das Versagen der Verbundfuge dürfte in der ungenügenden Vernetzung der Klebeschicht zwischen Holz und Holzbeton liegen. Durch den unzureichenden Verbund kam es zu höheren Biegespannungen in den Teilquerschnitten Holz und Beton und damit zum Bruch der Keilzinkung.

Des Weiteren wurde ersichtlich, dass in diesem Bereich des Trägers zwei Schrauben nicht aus dem Holz ausgezogen wurden, sondern in der Klebefuge zwischen Holz und Holzbeton abgerissen sind. Die restlichen Schrauben wurden aus der Brettsperrholzplatte ausgezogen.



Abbildung 1.18: Versagen der Keilzin-  
kung unter der La-  
steinleitung  $F_A$



Abbildung 1.19: Betonriss im Be-  
reich der Kraftein-  
leitung  $F_A$  nach  
Maximalbelastung



Abbildung 1.20: Bruch  
nach  
Wiederbelastung



Abbildung 1.21: Bruchbild der BSP-  
Platte

#### **1.2.2.4 Verformungsverhalten**

In Abbildung ?? ist die Arbeitslinie des Versuchs dargestellt.

Sie weist einen annähernd linearen Verlauf bis zu der Kraft von 58 kN auf. Wie im Diagramm ersichtlich, besteht kein Unterschied zwischen den Messpunkten u 1.1 und u 1.2,

d.h. es kam zu keiner Torsion während des Versuches. Der weitere Verlauf der Kennlinie ist mit einigen Knicken versehen, die als Datenerfassungsfehler interpretiert werden.

Abbildung ?? zeigt die relative Verschiebung zwischen der BSP-Schicht und der Betonschicht. Bis zur Laststufe von 35 kN trat keine messbare Verschiebung auf. Weiters ist erkennbar, dass bei 58 kN der Verbund zwischen der BSP-Schicht und der Holzbetonschicht nicht mehr vorhanden war.

Die Ablachung der Kurve zwischen 58 und 60 kN beinhaltet die Kriechverformung zufolge der konstant gehaltenen Kraft von 58 kN (siehe auch Abbildung ??). Während die Kurve u4 (Verschiebung bei Auflager B) bei weiterer Belastung die gleiche Steigung wie vor dem Haltepunkt aufweist, zeigt die Kurve u5 das fortschreitende Versagen der Schubverbindungen zwischen Beton und Holz.

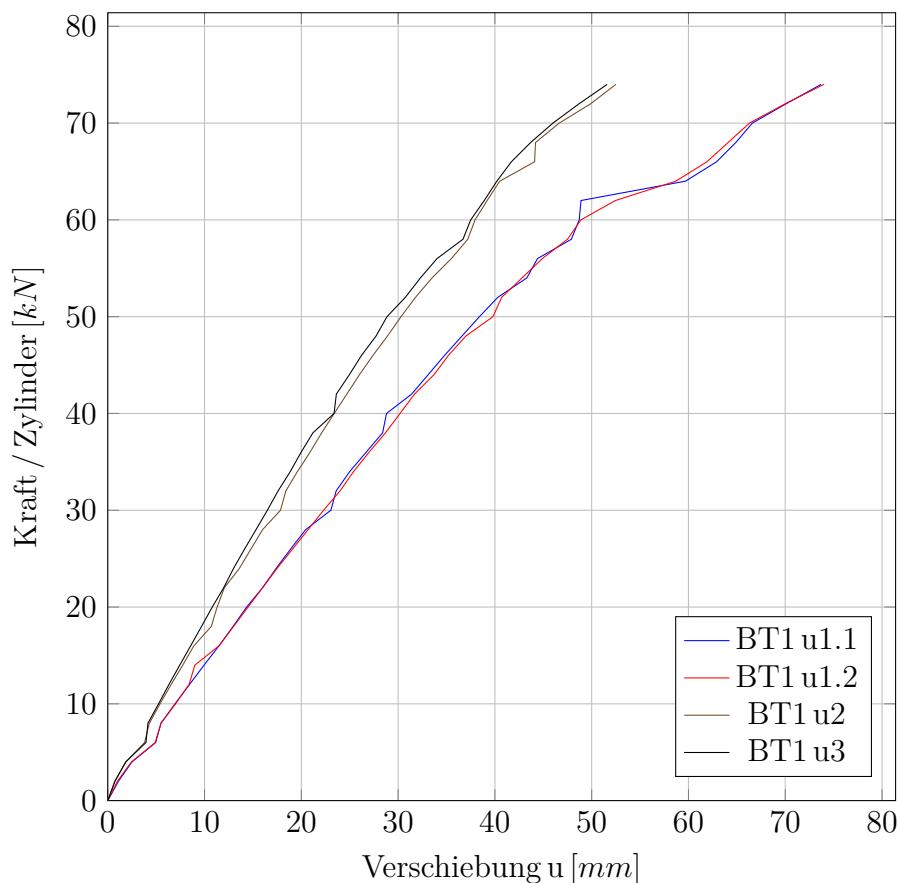


Abbildung 1.22: Bauteilversuch 1: Kraft- und Verschiebungsverlauf

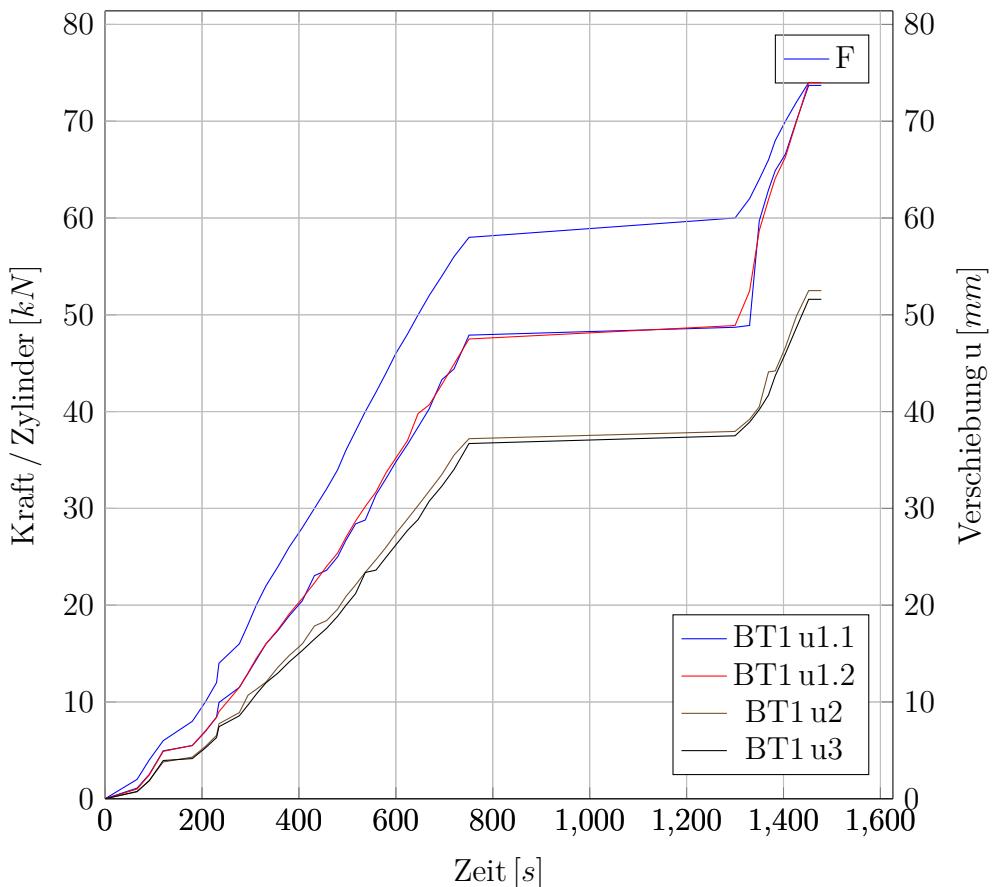


Abbildung 1.23: Bauteilversuch 1: Kraft-und Verschiebungsverlauf in Abhangigkeit von der Zeit

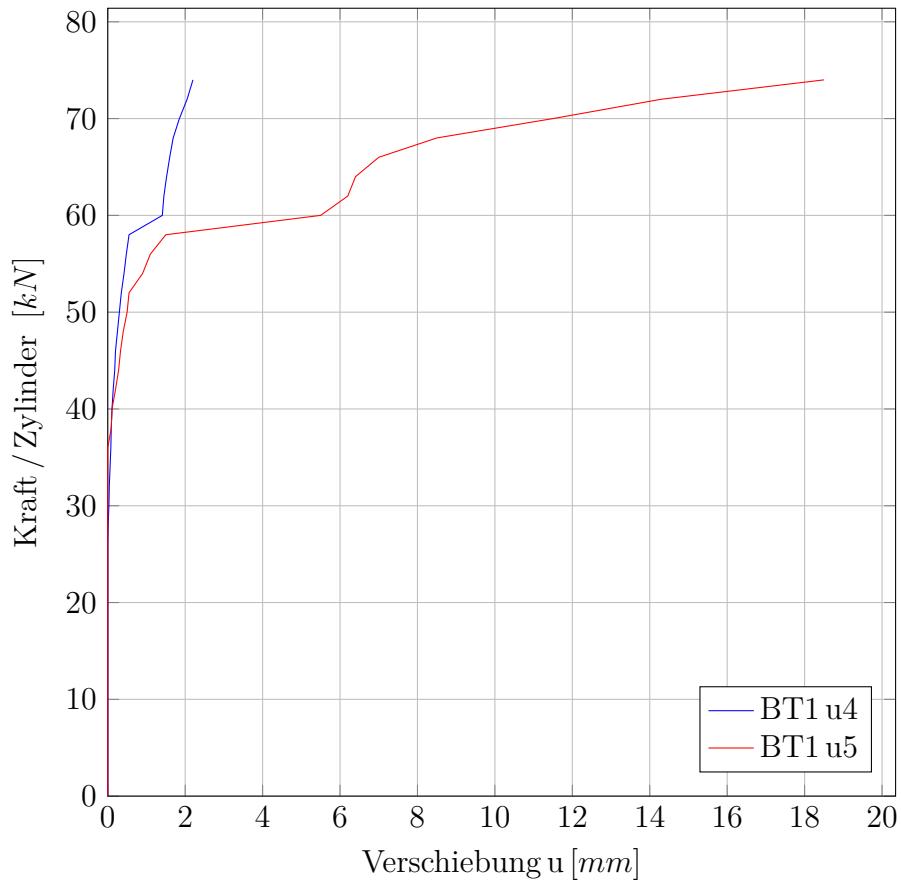


Abbildung 1.24: Bauteilversuch 1: Kraft-Schubverschiebung

### **1.2.3 Bauteilversuch 2 (BT 2)**

#### **1.2.3.1 Versuchskörper**

Der grundsätzliche Schichtenaufbau ist in Abschnitt 2.1.2 beschrieben.

Im Unterschied zum Versuch BT 1 (ref) wurden die Schrauben analog zum Querkraftverlauf zufolge der Belastungsanordnung im Versuch positioniert. Mittels einer Finite Elemente Berechnung mit dem Programm Sofistik wurde die Lage der Schrauben so optimiert, dass die Schrauben die gleiche Normalkraft erfahren.

Nach den Kleberversuchreihe 1(ref) wurde der Kleber ElastoCem 109 verwendet.

**Schädigungen vor Versuchsdurchführung** Die Schädigungen sind beim Einheben des Trägers in die Prüfanlage aufgetreten. Der Träger wurde mit zwei Gurten, die im Abstand von 3 m zueinander in der Mitte des Trägers befestigt wurden, angehoben. Durch den daraus resultierenden Lastzustand entstanden die Betonzugrisse im Abstand von ca. 150 cm von den Trägerenden (Abbildung ??) und der Spalt in der obersten Klebefuge an den Trägerenden (Abbildung ??).

Über die gesamte Länge des Träger wurden außerdem in der obersten Klebefuge ungenügende Vernetzungen im Randbereich der einzelnen Veloxplatten festgestellt. An diesen Stellen war jeweils ein deutlicher Spalt zwischen den Veloxschichten zu sehen.

Entgegen der Resultate der Kleberversuchsreihe 1 erwiesen sich die Eigenschaften des hier verwendeten Kleber als ungeeignet für das Sandwichsystem.

#### **1.2.3.2 Versuchsablauf**

Der Versuch wurde ebenfalls manuell kraftgesteuert durchgeführt. Die Belastungsgeschwindigkeit betrug etwa 4 kN/min.

Die Maximalkraft betrug 31 kN. Danach fiel die Belastung auf 18 kN ab, als der maximale Zylinderweg der Prüfanlage erreicht wurde. Um einen vollständigen Bruch des Systems herbeizuführen, wurde der Bauteil nochmals belastet. Der Bruch trat bei einer Last von 21 kN ein ).

#### **1.2.3.3 Versagensbeschreibung**

Abschnitt ?? beschreibt die Schädigungen, die durch das Einheben des Trägers in die Prüfanlage entstanden sind.

Wegen des großflächig nicht vorhandenen Verbundes in den Klebefugen (Abbildung ?? und ??) wird davon ausgegangen, dass die mechanischen VerbindungsmitTEL (Schrauben) alleine die Verbundwirkung zwischen Holz und Beton herstellen.

Bei der Laststufe von 24 kN fand das erste sichtbare Versagen in der Holzschicht statt. Es spaltete sich ein Keil in der Zugzone in Trägermitte ab (Abbildung ??).

Bei der Maximallast von 31 kN versagten die Schrauben beim Auflager A durch Herausziehen aus dem Holz. Es zeigt sich bei Betrachtung der überproportionalen Relativverschiebung zwischen Holz- und Betonschicht (Abbildung ?? ).

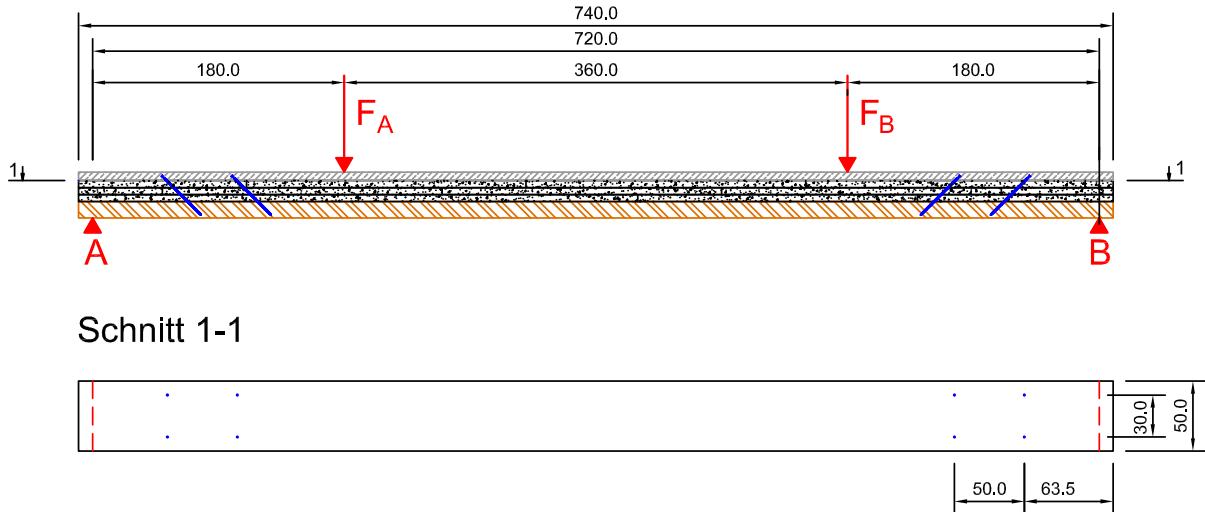


Abbildung 1.25: Darstellung des BT 2, mit Verbindungsmittel und Lasteinleitung

**Anmerkung:** Die Verschiebung ist im Diagramm in Abbildung ?? nicht erfasst, da die analogen Wegaufnehmer aus Sicherheitsgründen zu diesem Zeitpunkt bereits entfernt worden sind.

Der vollständige Bruch der BSP-Platte fand nach Wiederbelastung zwischen dem Lasteinleitungspunkt  $F_A$  und Trägermitte bei einer Last von 21 kN statt (Abbildung ??).

#### 1.2.3.4 Verformungsverhalten

In Abbildung ?? ist die Arbeitslinie des Versuchs dargestellt.

Der Verlauf der Arbeitslinien ist bis zu einer Last von 14 kN linear. Danach nehmen die Verformungen progressiv zu. Über der Belastung von 16 kN vergrößert sich der Unterschied zwischen der Verschiebungslinien  $u_2$  und  $u_3$ . Es ist auf die Abspaltung des Holzkeils der BSP-Platte zurückzuführen (Abbildung ??).

Die relative Verschiebung zwischen der BSP-Schicht und der Betonschicht ist in Abbildung ?? darstellt. Die Arbeitslinien sind nahezu ident. Sie weisen bis zu 15 kN ein lineares Verhalten auf, danach ist ein progressiver Anstieg erkennbar.



Abbildung 1.26: Schädigung beim Auflager B



Abbildung 1.27: Schädigung des Betons, bei  $F_B$



Abbildung 1.28: Horizontale Verschiebung beim Auflager A, nach Maximalbelastung



Abbildung 1.29: Darstellung des Versagen



Abbildung 1.30: Darstellung des vollständigen Bruchs



Abbildung 1.31: Oberfläche der aufge-tragenen Schicht



Abbildung 1.32: Oberfläche der aufge-legten Schicht

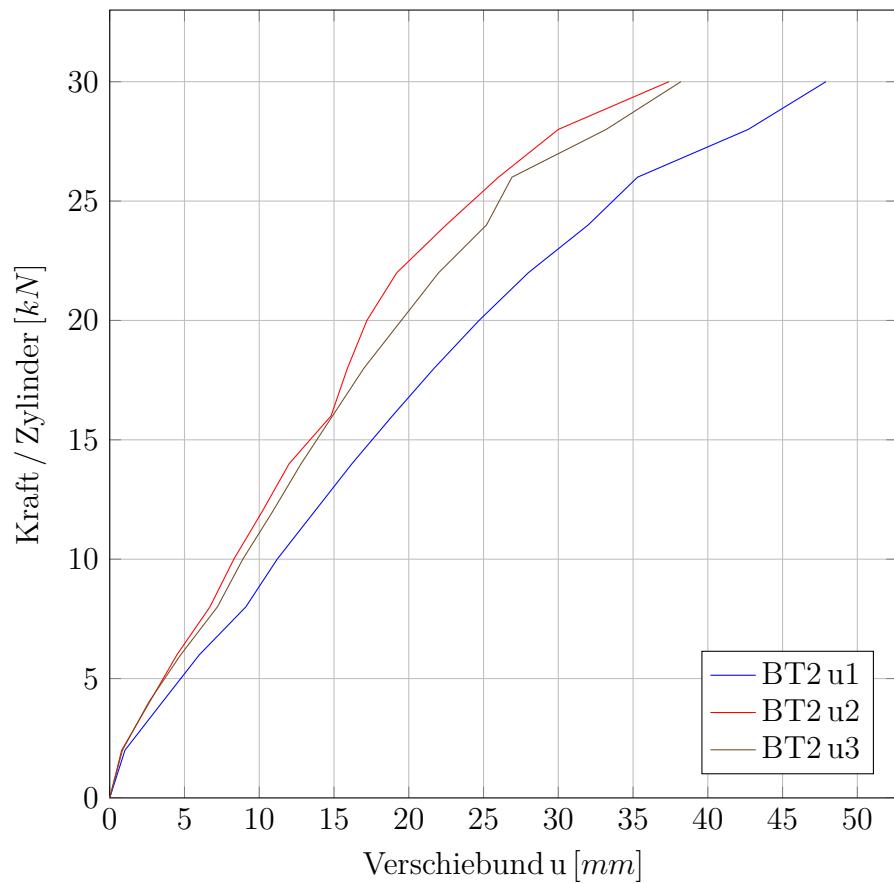


Abbildung 1.33: Bauteilversuch 2: Kraft-Durchbiegung

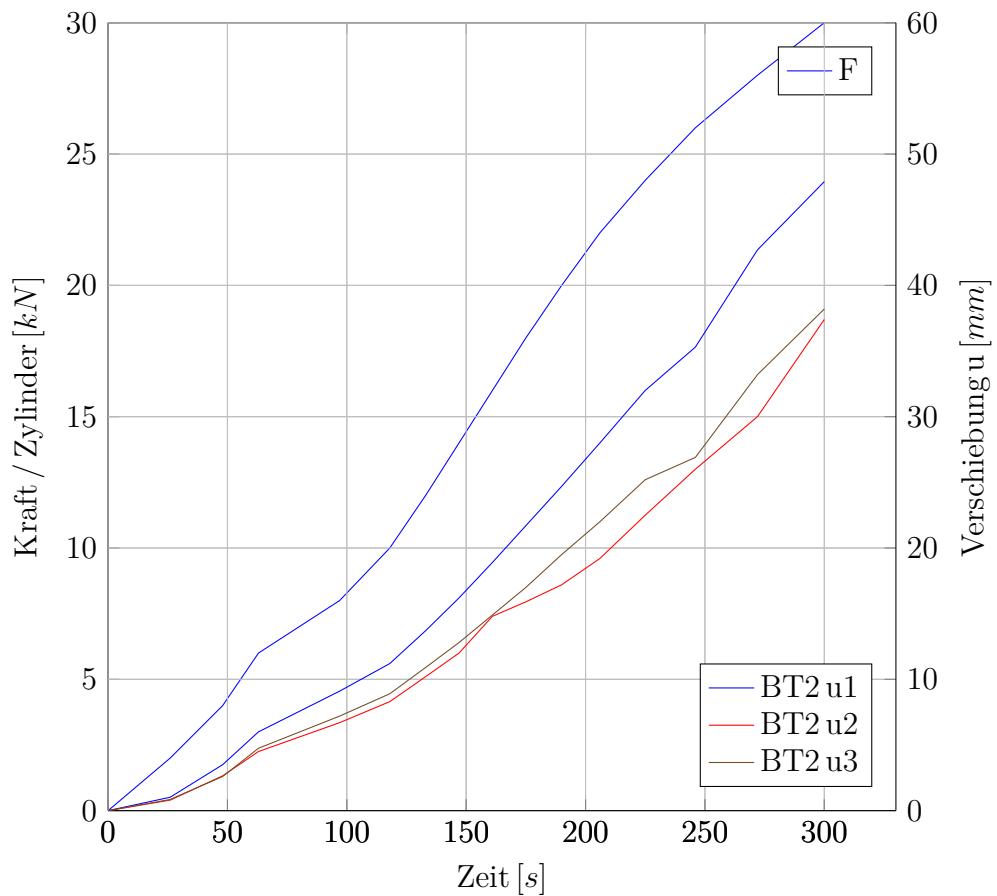


Abbildung 1.34: Bauteilversuch 2: Kraft- und Verschiebungsverlauf in Abhangigkeit von der Zeit

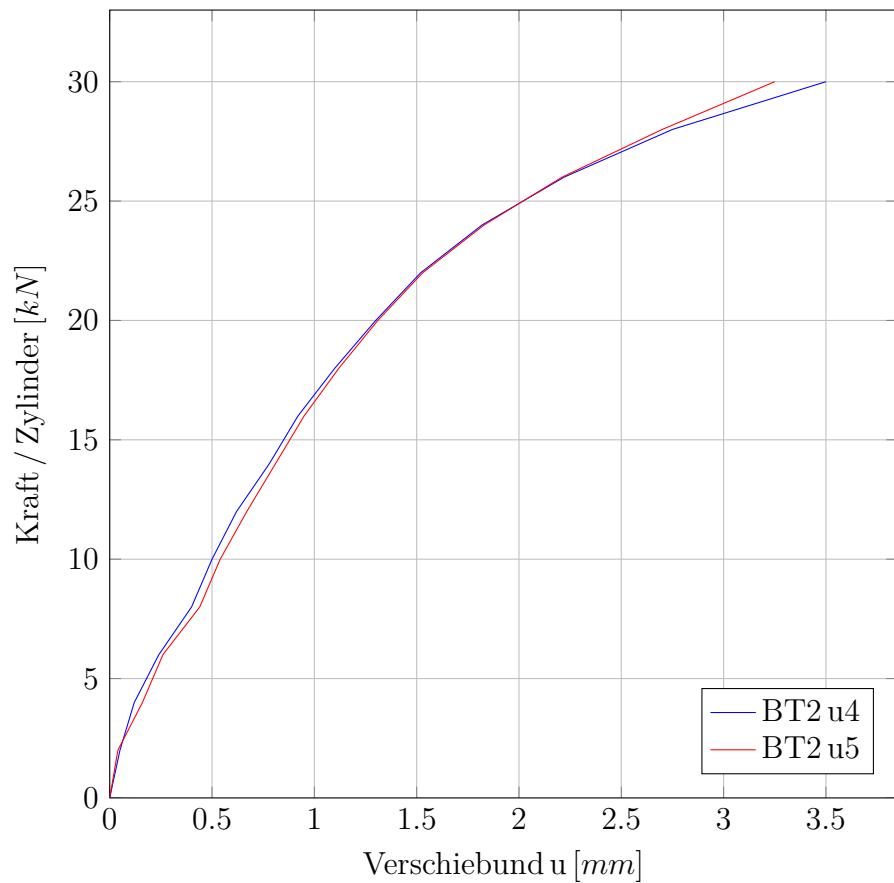


Abbildung 1.35: Bauteilversuch 2: Kraft-Schubverformung

## 1.2.4 Bauteilversuch 3 (BT 3)

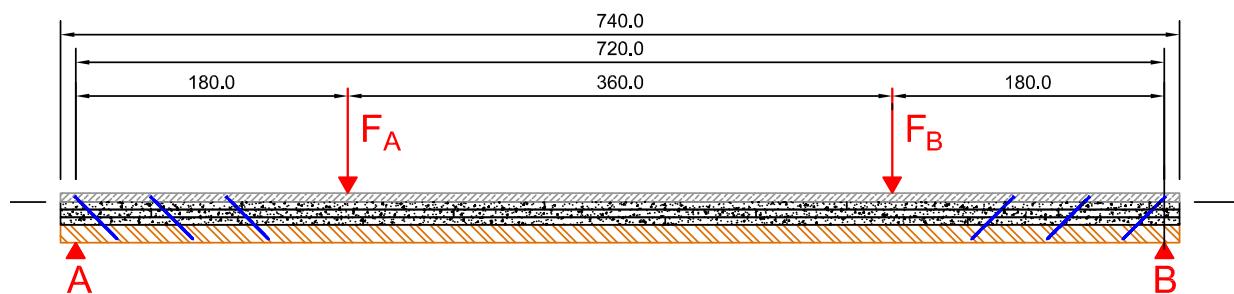
### 1.2.4.1 Versuchskörper

Der Schichtenaufbau ist in Abschnitt 2.1.2 beschrieben.

Aufgrund der Erfahrungen, die mit dem Bauteil BT 2 gemacht wurden, wurden folgende Änderungen bei den Verbindungsmitteln vorgenommen.

Die Anzahl und Anordnung der Schrauben ist der Abbildung ?? zu entnehmen. Im Auflagerbereich wurde eine zusätzliche Schraube angeordnet, um den Lastfall 'Einheben des Versuchskörpers in die Prüfanlage' zu berücksichtigen.

Weiters wurde ein Kleber mit höherer Steifigkeit (Sikatop 107) eingesetzt (siehe Kleberversuchsreihe 2).



Schnitt 1-1

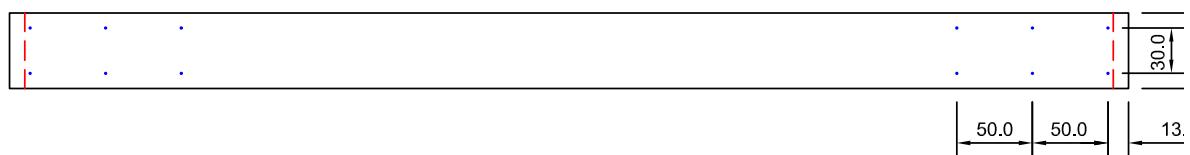


Abbildung 1.36: Darstellung des BT 3, mit Verbindungsmittel und Lasteinleugung

### 1.2.4.2 Versuchsablauf

Wie im Abschnitt ?? beschrieben, wurde der Versuch mit einer digitalen Messeinrichtung versehen und mithilfe einer programmierten Belastungskurve gesteuert. Abbildung ?? zeigt den zeitlichen Ablauf des Versuchs.

Bei der Last von 35 kN wurde ein weiterer Haltepunkt mit einer Dauer von 30 min eingefügt, um das kurzzeitige Kriechverhalten unter hoher Last zu beobachten.

Anschließend wurde der Bauteil weiter belastet, bis ein deutlicher Lastabfall eintrat. Die Maximallast betrug 58 kN.

Nach Entfernung der Messinstrumente wurde der Bauteil manuell gesteuert belastet, bis die BSP-Platte bei einer Last von 35 kN im Bereich der Lasteinleitung  $F_B$  brach.



Abbildung 1.37: Darstellung des Risses im Beton und Holzbeton



Abbildung 1.38: Spalt zwischen BSP und Holzbeton

#### 1.2.4.3 Versagensbeschreibung

Die erste Schädigung trat als Riss im Beton und im Holzbeton im Bereich der Lasteinleitung  $F_B$  bei der Maximallast von 58 kN auf (Abbildung ??). Dieser Betonzugriss ist ein Resultat der Spannungsumlagerung, welche sich zufolge des Versagens der Holzschrauben einstellt. Dieser Verlust der Verbundwirkung ist auch im Diagramm in Abbildung ?? zu sehen. Die Relativverschiebung zwischen Holz und Beton bei Auflager B (u4) erhöht sich im Bereich der Maximallast progressiv.

Abbildung ?? zeigt eine gute Verklebung im Mittelbereich des Bauteils, hier versagte das Velox. In den Randbereichen versagte hingegen die Klebefuge.

#### 1.2.4.4 Verformungsverhalten

In Abbildung ?? ist die Arbeitslinie des Versuchs dargestellt.

Der Verlauf der Arbeitslinien ist bis zu einer Last von 50 kN linear. Anschließend nehmen die Verformungen progressiv zu. Die Verschiebungen u2 und u3 haben bis zur Last von 56 kN den gleichen Verlauf, danach nimmt die Verformung u3 stärker zu. Dieses Verhalten ist auf das Versagen der Schubverbindungen in diesem Bereich zurückzuführen.



Abbildung 1.39: Bruch nach Wiederbelastung bei Lasteinleitung  $F_B$



Abbildung 1.40: Oberflächbild: BSP-Platte und Holzspanbeton

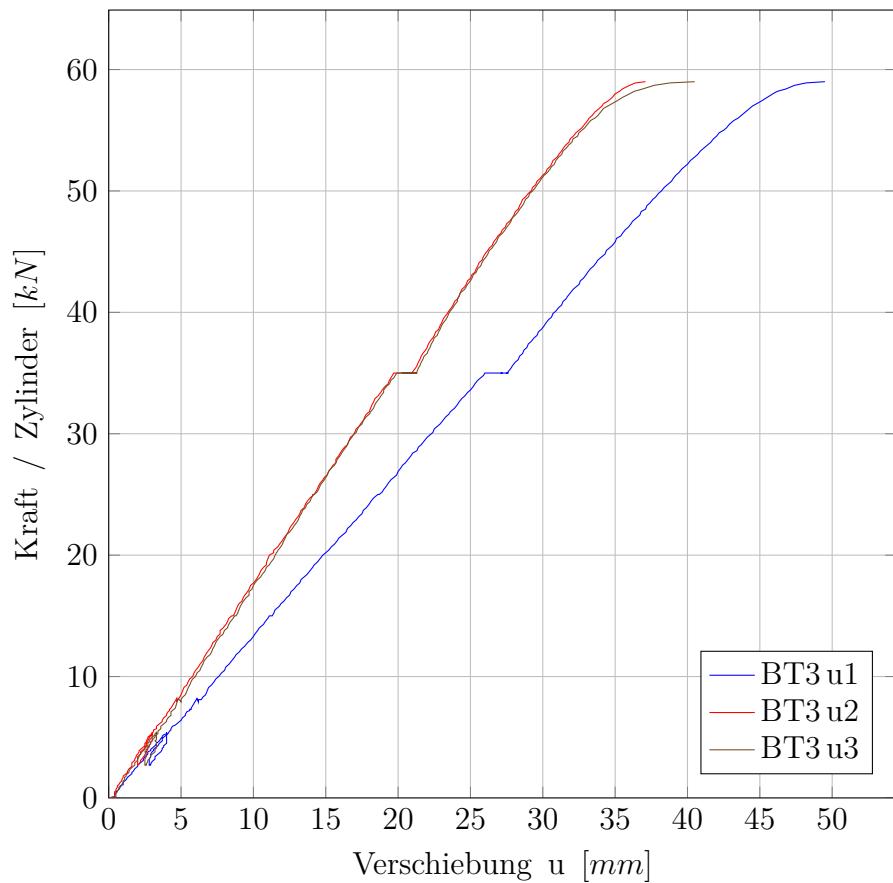


Abbildung 1.41: Bauteilversuch 3: Kraft-Durchbiegung

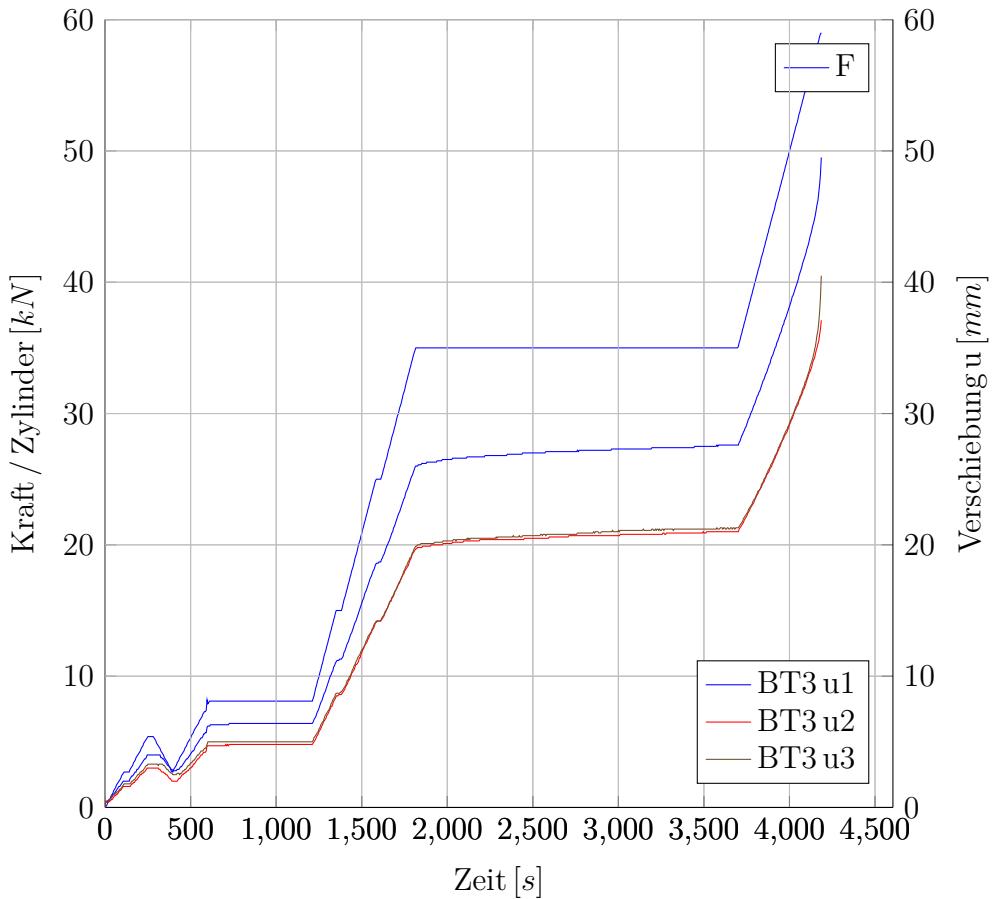


Abbildung 1.42: Bauteilversuch 3: Kraft- und Verschiebungsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit

In der Abbildung ?? ist die Schubverformung des Versuchs abgebildet. Durch die geringe Auflösung der Messsensoren entstand die Treppenkurve. Dennoch ist ein annähernd linearer Verlauf bis zur Last von ca. 50 kN zu erkennen. Wie im vorigen Abschnitt beschrieben zeigt die Zunahme der Verschiebung  $u_4$  ein Versagen der Schubverbindungen im Bereich des Auflager B an.

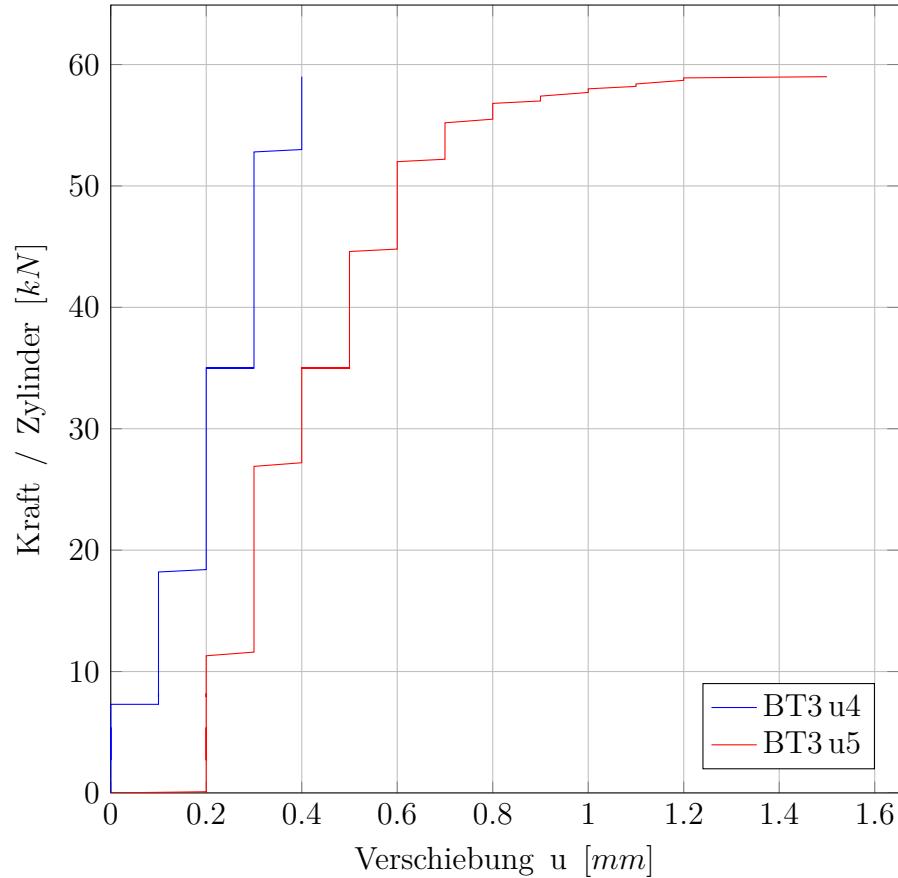


Abbildung 1.43: Bauteilversuch 3: Kraft-Schubverformung

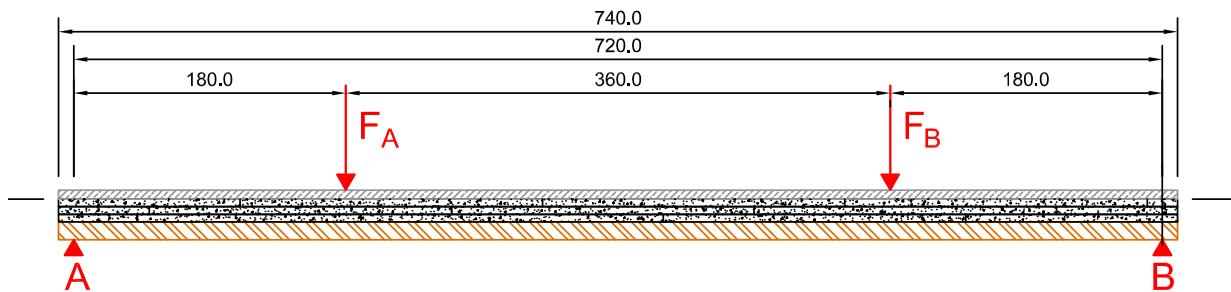
## 1.2.5 Bauteilversuch 4 (BT 4)

### 1.2.5.1 Versuchskörper

Der Schichtenaufbau ist in Abschnitt 2.1.2 beschrieben.

Diese Probe wurde ohne mechanische Verbindungsmitte (Schrauben) gefertigt, um einen Referenzwert und den Einfluss der Schrauben auf das System zu ermitteln.

Bei diesem Versuch wurde wie bei Bauteil BT 3 der Kleber SikaTop 107 verwendet.



Schnitt 1-1



Abbildung 1.44: Darstellung des BT 4, mit Verbindungsmitte und Lasteinlelung

### Schädigungen vor Versuchsdurchführung

### 1.2.5.2 Versuchsablauf

Wie im Abschnitt ?? beschrieben, wurde der Versuch mit einer digitalen Messeinrichtung versehen und mithilfe einer programmierten Belastungskurve gesteuert. Abbildung ?? zeigt den zeitlichen Ablauf des Versuchs.

Bei der Last von 5,4 kN war ein Haltepunkt von 120 s vorgesehen. Jedoch begann der Bauteil bei dieser Laststufe zu kriechen, daher wurde die Last ca. 900 s manuell gehalten. In Abbildung ?? ist dargestellt, dass bei konstanter Last die Verformungen zunehmen (bei  $t = 400 - 600$  s).

Anschließend wurde der Versuch nach der programmierten Belastungskurve weiter gefahren, bis er bei der Last von 7,5 kN beendet wurde, um die Messinstrumente abzunehmen.



Abbildung 1.45: Stahlblech durchdringt die unterste Klebefuge, bis zu 20 cm vom Bauteilende

Nach Entfernung der Messinstrumente wurde der Bauteil nochmals belastet, bis die BSP-Platte bei einer Last von 12 kN in Trägermitte brach.

### **1.2.5.3 Versagensbeschreibung**

Durch den fehlerhaften Verbund in der Klebefuge kam es zu Zugrissen im Beton und im Holzbeton in der Nähe der Lasteinleitung  $F_B$  bei einer Last von 5 kN (Abbildung ??).

Beim Zeitpunkt 600 s bildete sich ein weiterer Riss in Trägermitte und die unterste Verbundfuge löste sich vollständig von Trägermitte bis zum Auflager B. Dadurch nahmen die Verformungen sprunghaft zu, insbesondere die Relativverschiebung u5.

Das Versagen der BSP-Platte fand bei Wiederbelastung bei 12 kN statt.  
BT4-5.4kN.dat

### **1.2.5.4 Verformungsverhalten**

In Abbildung ?? ist die Arbeitslinie des Versuchs dargestellt.



Abbildung 1.46: Rissdarstellung in der unteren Klebefuge

Der Verlauf der Arbeitslinien weist schon bei geringer Belastung auf ein nichtlineares Verhalten hin. Beim Haltepunkt 2,7 kN ist ein Kriechverhalten ersichtlich.

Der weitere Verlauf bis zum nächsten Haltepunkt 5,4 kN zeigt ebenfalls ein deutlich nichtlineares Verhalten

Bei der konstant gehaltenen Last von 5,4 kN nimmt die Verschiebungen ständig zu, dass auf ein ausgeprägtes Kriechverhalten hinweist.

Nach der Entlastung auf 2,7 kN und darauffolgenden Wiederbelastung ist erkennbar, dass der Bauteil sich plastisch verformt hat.

In der Abbildung ?? ist die Schubverformung des Versuchs abgebildet.

Die Kennlinien sind bis zu dem Lastniveau von 5,4 kN fast ident. Bei der konstanten Last von 5,4 kN steigt die Verschiebung der Kennlinie u5 erheblich an. Dies ist auf das Versagen der Verbundfuge im Bereich zwischen Trägermitte und dem Auflager B zurück zu führen.

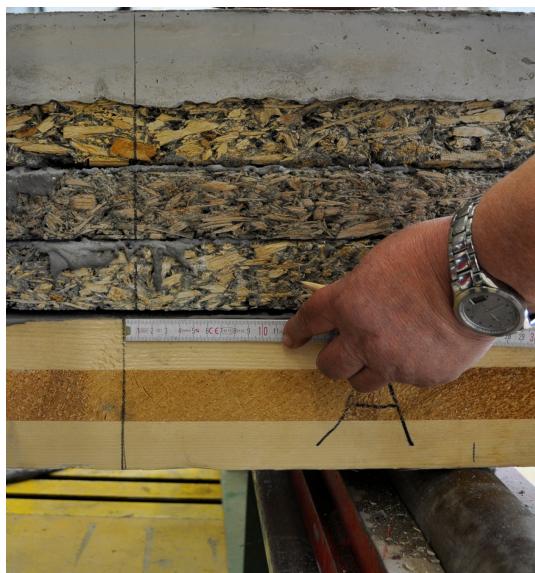


Abbildung 1.47: Darstellung des horizontalen Verschiebung beim Auflager A



Abbildung 1.48: Risse in der Beton- und Veloxschicht

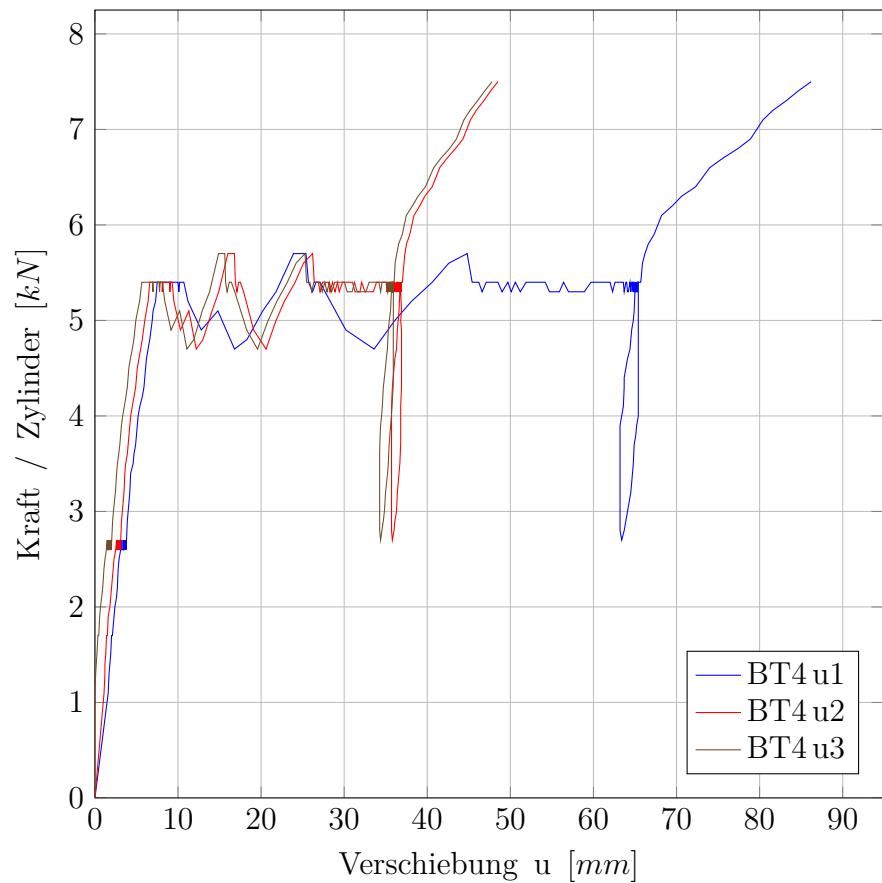


Abbildung 1.49: Bauteilversuch 4: Kraft-Durchbiegung

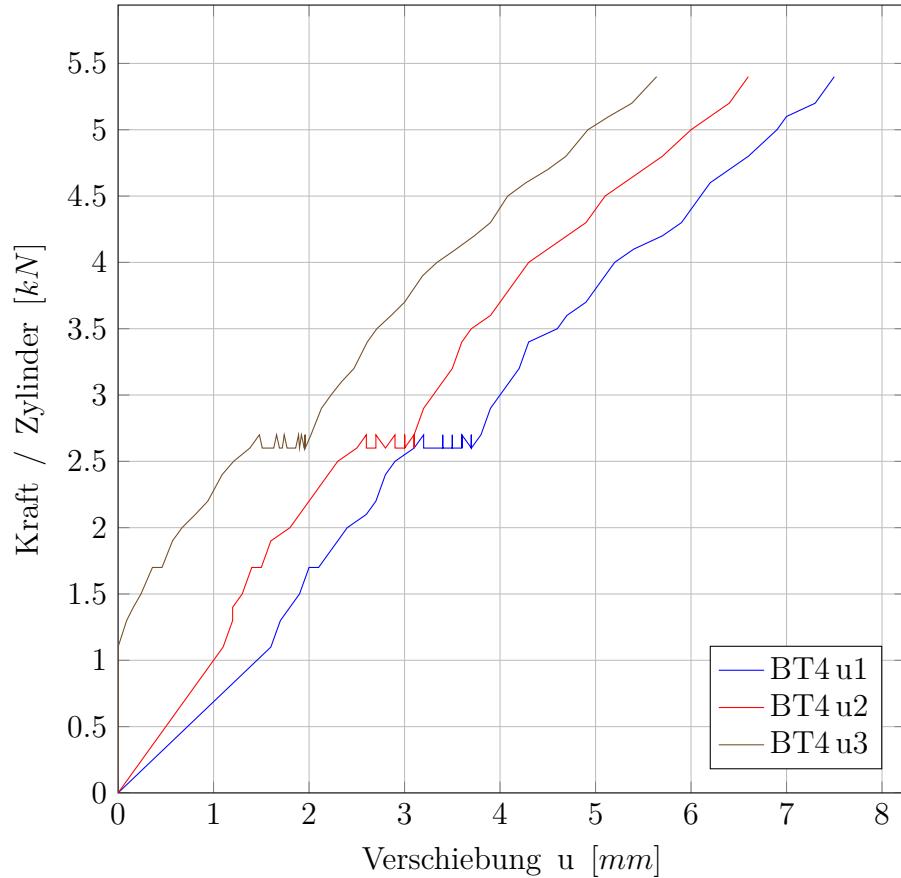


Abbildung 1.50: Bauteilversuch 4: Kraft-Durchbiegung bis 5,4 kN

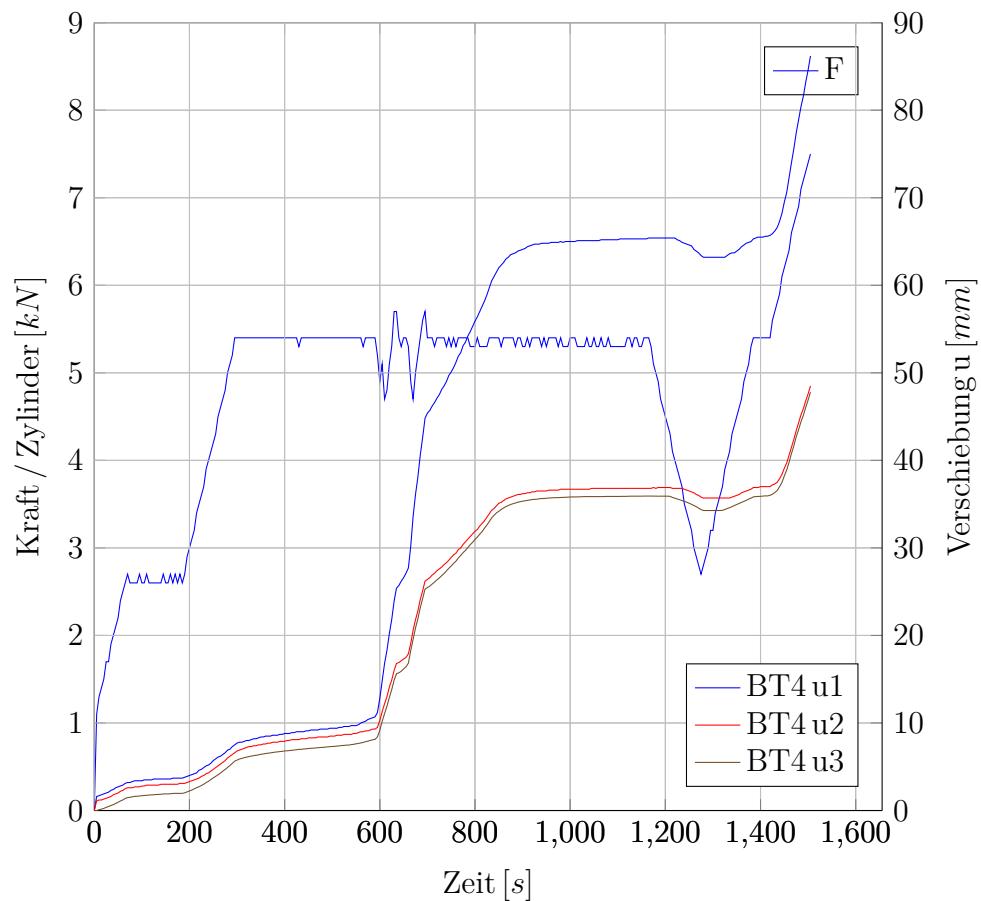


Abbildung 1.51: Bauteilversuch 4: Kraft- und Verschiebungsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit

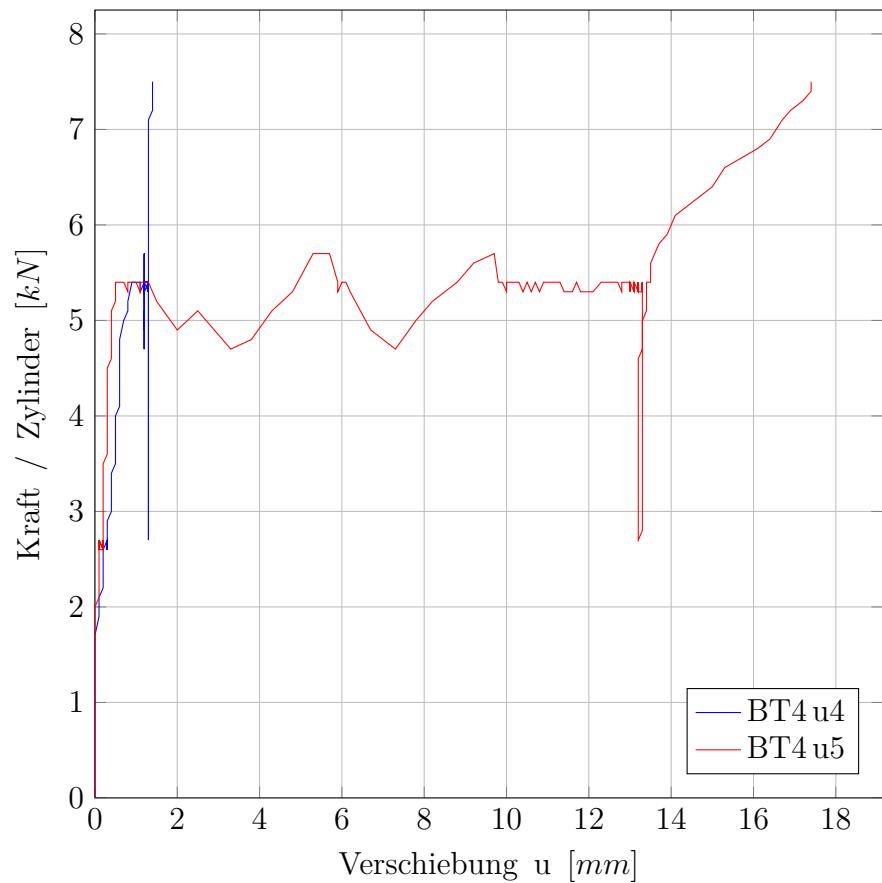


Abbildung 1.52: Bauteilversuch 4: Kraft-Schubverformung

### 1.2.6 Gegenüberstellung der Bauteilversuche

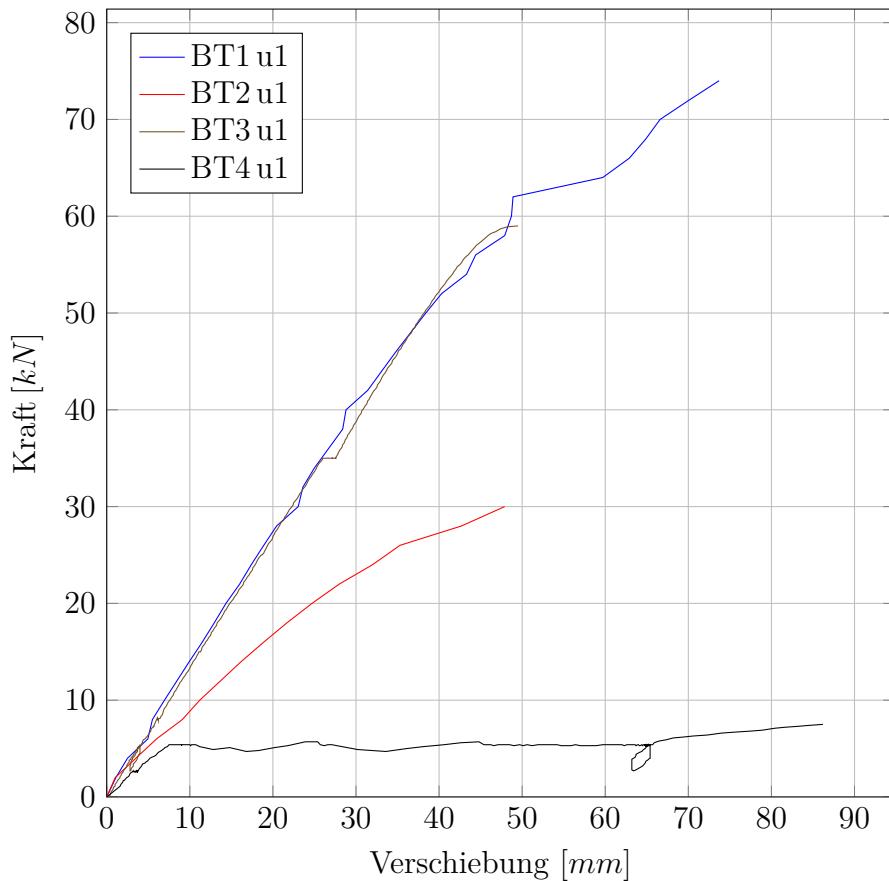


Abbildung 1.53: Vergleich der vertikalen Verschiebung in der Bauteilmitte

#### 1.2.6.1 Durchbiegung in Feldmitte

In der Abbildung ?? sind die Durchbiegungskennlinien in Trägermitte darstellt. Es fällt auf, dass die Arbeitslinien der BT1 und BT3 eine sehr gute Übereinstimmung aufweisen. Der Bauteil 2 hat eine geringere Biegesteifigkeit als diese beiden Versuchskörper. Der Träger BT 4 hatte die geringste Biegesteifigkeit.

Um das Verformungs- und das Traglastverhalten der Sandwichbauteile zu analysieren, werden die Messwerte für eine Durchbiegung von  $w = l/400$  und eine Belastung von  $F = 8 \text{ kN}$  als Vergleichswerte herangezogen. Der Wert für die Durchbiegung wurde so gewählt, dass Reserven für Langzeitverformungen gegeben sind. Der Belastungswert ergibt sich aus der Summe der Eigenlast und einer üblichen Nutzlast im Wohn- und Bürobau (Tabelle ?? und Abbildung ??).

Die Maximallast verhält sich analog zu den Biegesteifigkeiten. Die Bauteile mit höherer Biegesteifigkeit  $EI_{equ}$  haben auch eine höhere Maximallast  $F_{max}$ .

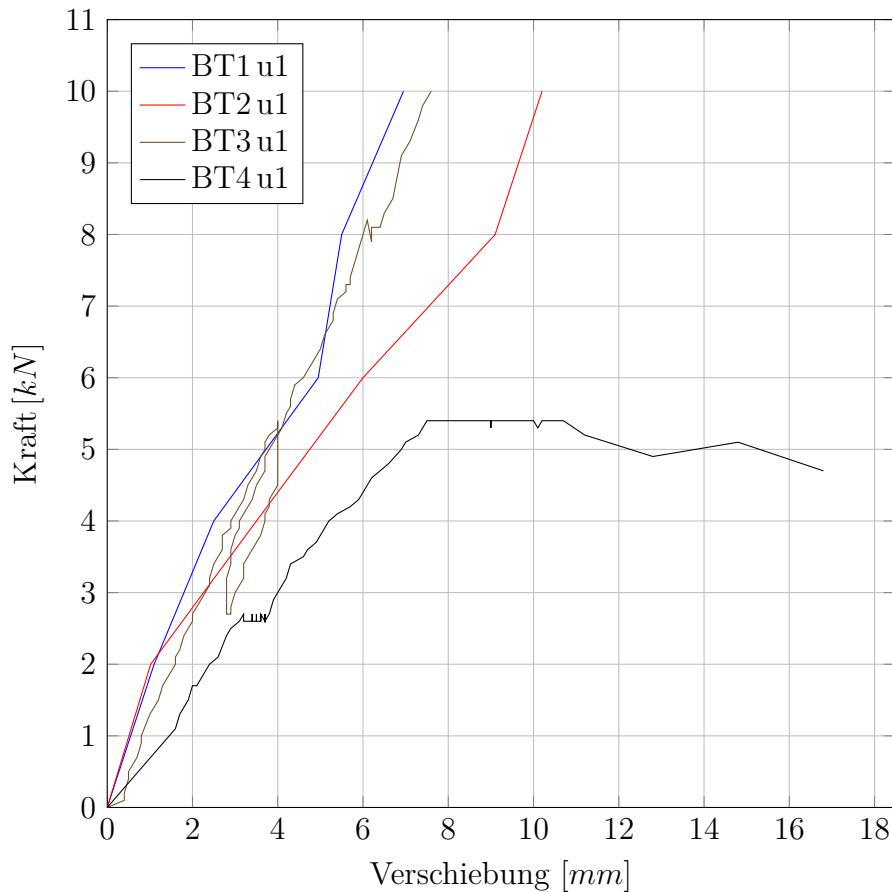


Abbildung 1.54: Vergleich der vertikalen Verschiebung in der Bauteilmitte bis 10 kN

Die Werte  $w_{max,F=8\text{kN}}$  und  $EI_{equ}$  für den Bauteil BT 4 weichen stark von den restlichen Werten ab, weil der Bauteil in diesem Zustand bereits versagt.

### 1.2.6.2 Schubverformung

Abbildung ?? vergleicht die Relativverschiebungen zwischen Beton und Holz in Abhängigkeit der Kraft an beiden Auflagern aller Bauteilversuche. Da die Verbundsteifigkeit der Schichten zwischen Beton und Holz entscheidenden Einfluss auf das Verformungs- und Tragverhalten des Sandwichbauteils hat, ist die Biegesteifigkeit der Systeme mit geringer Schubverformung am höchsten. Dieser Zusammenhang wird auch durch die Anwendung des  $\gamma$ -Verfahrens als Berechnungsmodell anschaulich dargestellt (Abschnitt ???).

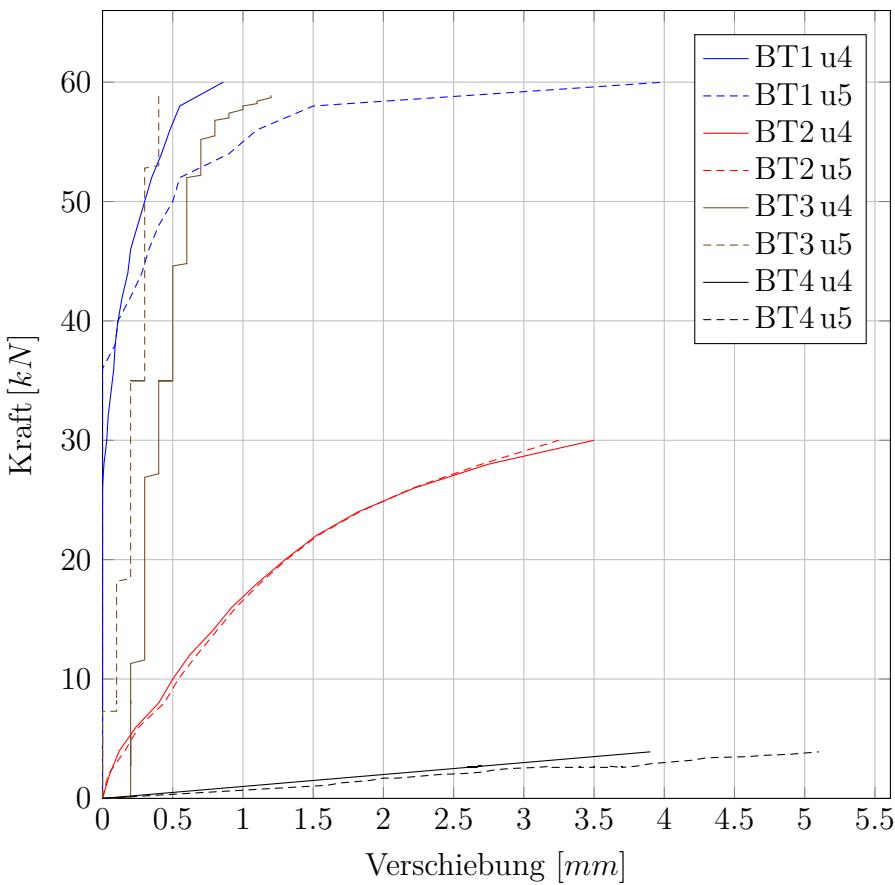


Abbildung 1.55: Vergleich der horizontalen Verschiebung beim Auflager

Tabelle 1.3: Vergleich der Bauteilversuche (Maximallast, Durchbiegung, Biegesteifigkeit)

Versuch	$F_{max}$ [kN]	$F(w = l/400)$ [kN]	$w(F = 8 \text{ kN})$ [mm]	$EI_{equ}$ [kN · cm <sup>2</sup> ]
1	72	25	5,5	1555200
2	30	15	9,20	929739
3	58	24,4	6,2	1379613
4	12	4,8	58	147476

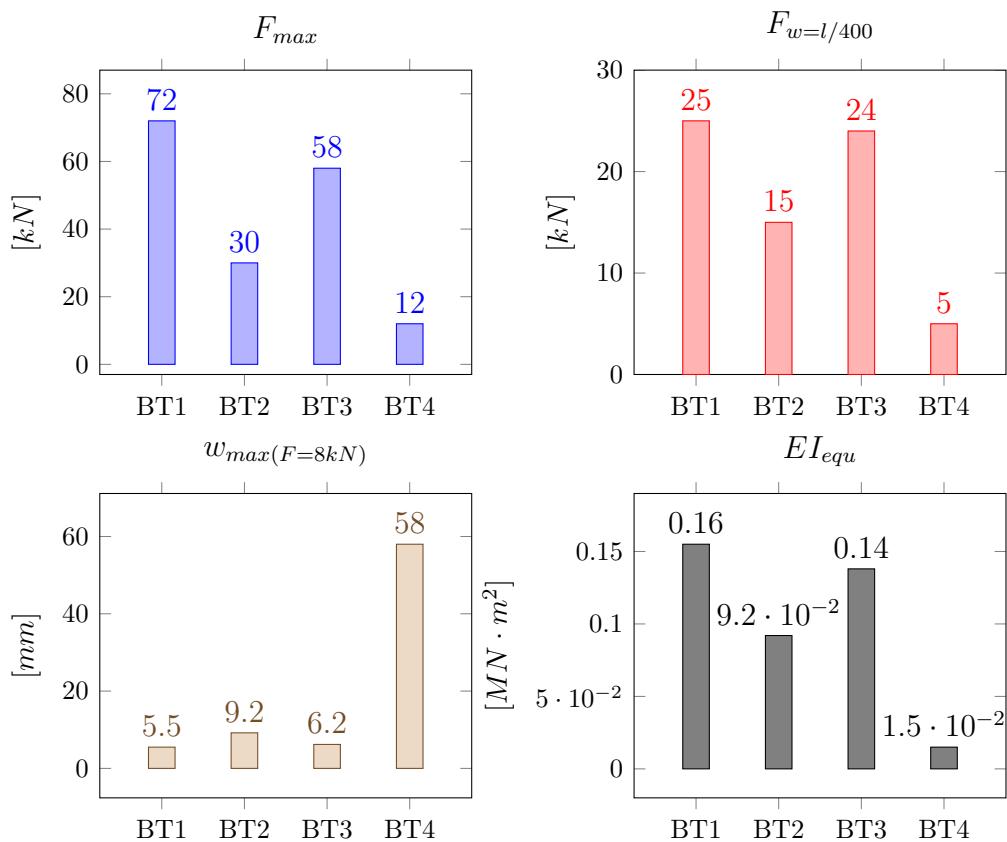


Abbildung 1.56: Vergleich der Bauteilversuche (Maximallast, Durchbiegung, Biegesteifigkeit)

## 1.3 Schubversuch

Wie im vorigen Abschnitt erläutert, hat das Schubverhalten der Zwischenschichten zwischen Beton und Holzschicht großen Einfluss sowohl auf die Verteilung der Schnittgrößen, als auch auf das Verformungsverhalten des Sandwichbauteils.

Mit den Versuchen, die dieser Abschnitt beschreibt, kann das Schubverhalten des Systems erforscht werden.

Bei Versuchskörper BT 1 fand das Versagen zwischen Auflager A und Lasteinleitung  $F_A$  statt. In der Nähe der Lasteinleitung brach die BSP-Platte vollständig durch. Der Rest des Trägers von Lasteinleitungs punkt  $F_A$  bis Auflager B hatte keine sichtbare Schädigung.

In Anlehnung an die Schubversuche in ???Literatur wurden die Versuche geplant. Für die Probekörper wurden Abschnitte des Trägers BT 1 gewählt, in denen sich jeweils drei Schraubenpaare befanden. Mit Hilfe einer Motorsäge und einer Flex (Trennschleifer) wurde der restliche Träger zerteilt. In Abbildung ?? ist ersichtlich, welche Teile des Trägers verwendet wurden.

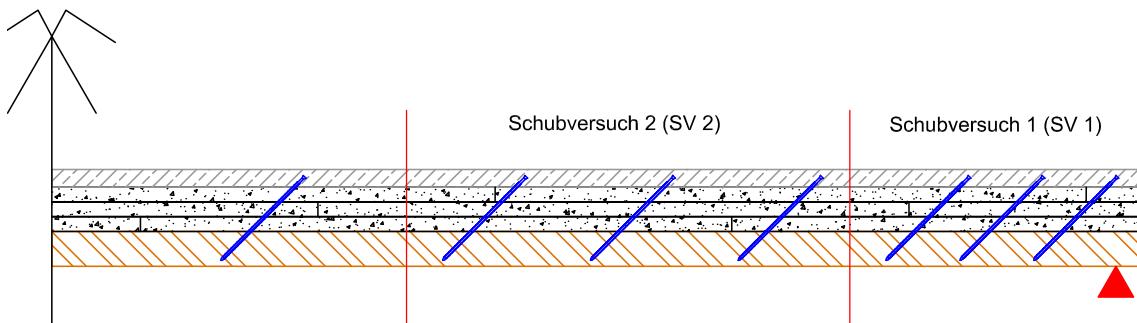


Abbildung 1.57: Darstellung des verwendeten Teiles der Trägers

Aus ???LitVerweis

Hinsichtlich der Ermittlung von Scher- bzw. Schubfestigkeiten für den Baustoff Holz existiert die Problematik, dass es nahezu unmöglich ist, einen reinen Schubspannungszustand für Scherflächen parallel zur Faser zu erzeugen. Bereits Petermann [Pet41] und Kollmann [Kol82] erkannten dieses Problem und betrachteten verschiedene Ansätze zur Lösung desselben. Bis heute - weitere 70 Jahre nach Erscheinen der oben genannten Arbeiten - ist diese Problematik nicht abschließend gelöst.

Im Wesentlichen haben sich heute zwei Prüfverfahren zur Ermittlung der Schubfestigkeit von Holz etabliert, welche den einschlägigen Normen in verschiedenen Ländern zugrunde liegen. Im Europäischen Raum bezieht sich der [DIN EN 1995-1-1] auf die [DIN EN 408] wo das in Abbildung ?? dargestellte Prüfverfahren festgelegt ist. [vgl. ....]

Abbildung ?? zeigt den abgeleiteten Versuchskörper und die Versuchsanordnung.

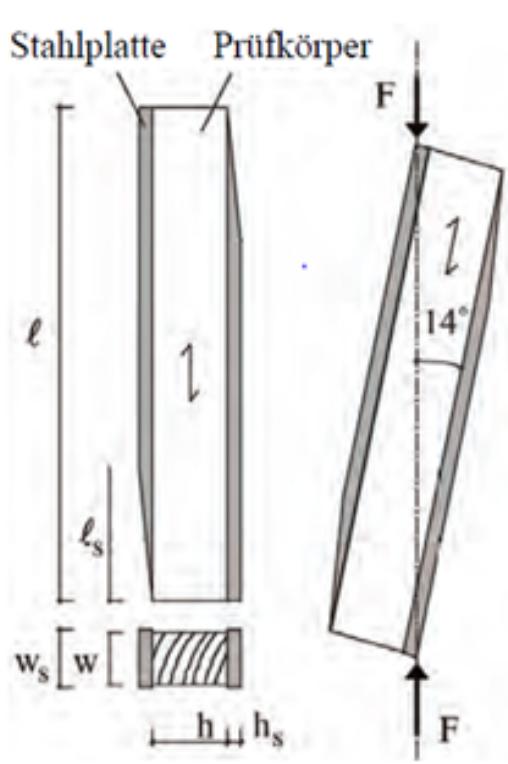


Abbildung 1.58: Versuchsschema:  
Scherversuch nach [1]

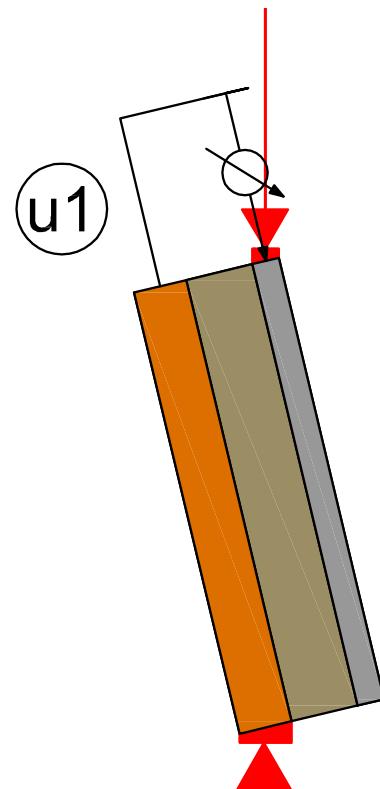


Abbildung 1.59: Skizze  
des Schubversuchs

### 1.3.0.3 Versuchskörper

Folgende Schubversuche wurden durchgeführt:

1. Schubversuch 1 (SV 1): 100 x 50 x 32,8 cm
2. Schubversuch 2 (SV 2): 150 x 50 x 32,8 cm

Abbildung ?? enthält Zeichnungen der beiden Versuchskörper.

### 1.3.0.4 Versuchsaufbau und Messeinrichtung

Der Versuchsaufbau kann der Abbildung ?? entnommen werden. Der Versuchskörper wird so platziert, dass die Lasteinleitung vertikal über dem Auflager liegt. Damit der Versuchskörper die schräge Lage einnimmt, wurden Holzprofile angefertigt. Diese wurden mit Klemmzangen befestigt, um ein Ausweichen des unteren Auflagers zu verhindern.

Für die Lasteinleitung wurde ebenfalls ein Holzprofil hergestellt.

Es wurden für den Versuch zwei Messuhren (Abbildung ??) am oberen Punkt des Bau- teils mittels einer Stahlplatte angebracht. Somit konnte die Relativverschiebung zwischen der BSP-Schicht und der Betonschicht gemessen werden.

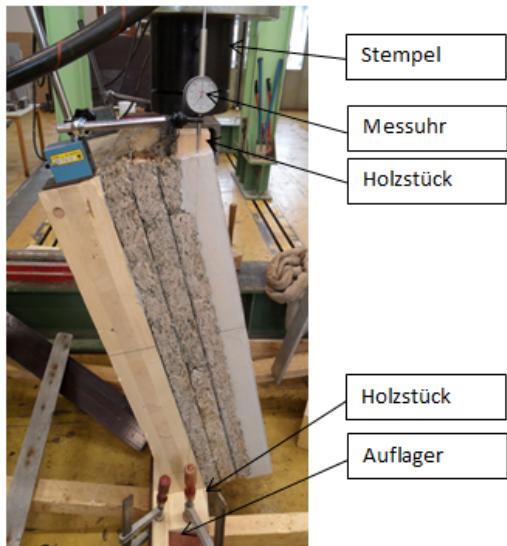


Abbildung 1.60: Darstellung des Scherversuchs

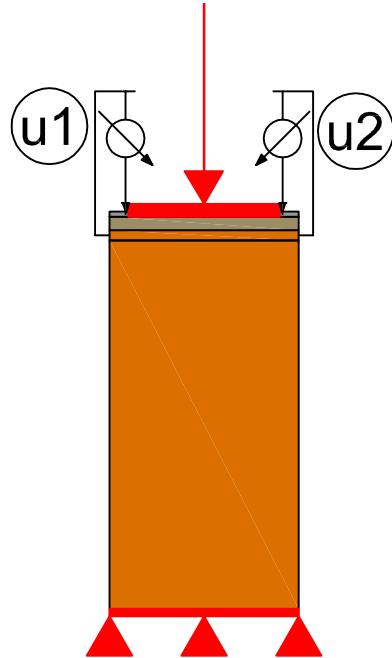


Abbildung 1.61: Anordnung der Messmittel

### 1.3.0.5 Versuchsablauf

Zu Beginn des Versuchs wurde eine Referenzkraft von  $0,5 \text{ kN}$  aufgebracht. Die Messuhren wurden anschließend auf Null zurückgestellt. Der Versuch wurde manuell kraftgesteuert durchgeführt, die Belastungsgeschwindigkeit betrug etwa  $0,1 \text{ kN/s}$ .

Nach einem deutlichen Lastabfall wurden die Messuhren abgenommen, um eine Beschädigung der Instrumente zu verhindern. Nach der Maximallast von  $359 \text{ kN}$  bei Versuch SV 1 bzw.  $348 \text{ kN}$  bei SV 2 wurde bis zum kompletten Abscheren der Betonschicht weiter belastet.

### 1.3.0.6 Versagensbeschreibung

**SV 1** Der Bruch deutete sich nur durch den Lastabfall an, visuell waren vor dem Bruch keine Schäden festzustellen.

Es wurden alle Schrauben aus dem Holz herausgezogen. Das Versagen in der Holzleichtbetonschicht trat in der untersten Klebefuge ein (Abbildung ??).

**SV 2** Der Bruch verlief wie beim ersten Versuch.

Es wurden drei Schrauben aus dem Holz herausgezogen, die anderen drei brachen in der Holzleichtbetonschicht. Die beiden Schrauben am oberen Ende des Versuchskörpers rissen in der mittleren Velox-Schicht, während die dritte Schraube in der untersten Velox-Schicht brach.

Der Bruchverlauf in der Velox-Schicht folgt den Bruchstellen der Schrauben (Abbildung ??).

### 1.3.0.7 Verformungsverhalten

In Abbildung ?? sind die Arbeitslinien der Versuche dargestellt.

**SV1** Die unterschiedliche Verschiebung bei den beiden Messpunkten zeigt, dass sich die Betonschicht während des Versuchs verdreht hat. Die Kurve verläuft bis zu einer Last von 250 kN linear, danach flacht die Kurve bis zum Bruch zunehmend ab.

**SV2** Der lineare Verlauf der Kurve geht bis etwa 200 kN. Danach entstand ein ausgeprägtes Fließplateau bei 225 kN und schließlich nahm die Verformung progressiv zu bis zum Bruch.

Obwohl die Arbeitslinien anfangs sehr unterschiedliche Steigungen aufweisen und das Fließplateau beim ersten Versuch überhaupt fehlt, ist das Verhalten vor dem Bruch (ab 230 kN) sehr ähnlich (Abbildung ??).

### 1.3.0.8 Zusammenfassung

### 1.3.0.9 Zusammenfassung

Tabelle 1.4: Berechnung

Versuch	$F_{max}$ [kN]	$F_{04}$ [kN]	$v_{04}$ [mm]	$k_{s,04}$ [N/mm]
SV1	359	144	1,17	123076
SV2	348	139	0,11	1263636

Wie in der Einleitung dieses Abschnitts beschrieben, ist das Bauteilverhalten stark von der Verbindungssteifigkeit der Beton- mit der Holzschicht abhängig. Diese Steifigkeit wird mit dem Verschiebungsmodul  $k_s$  beschrieben [?].

Tabelle ?? beinhaltet die Anfangsverschiebungsmodule  $k_{s,04}$  für eine Belastung von  $0,4 \cdot F_{max}$ .

$$k_{s,04} = \frac{F_{04}}{v_{04}} \quad (1.1)$$

- $F_{04} = 0,4 \cdot F_{max}$
- $v_{04} \dots$  Verschiebung bei  $F_{04}$

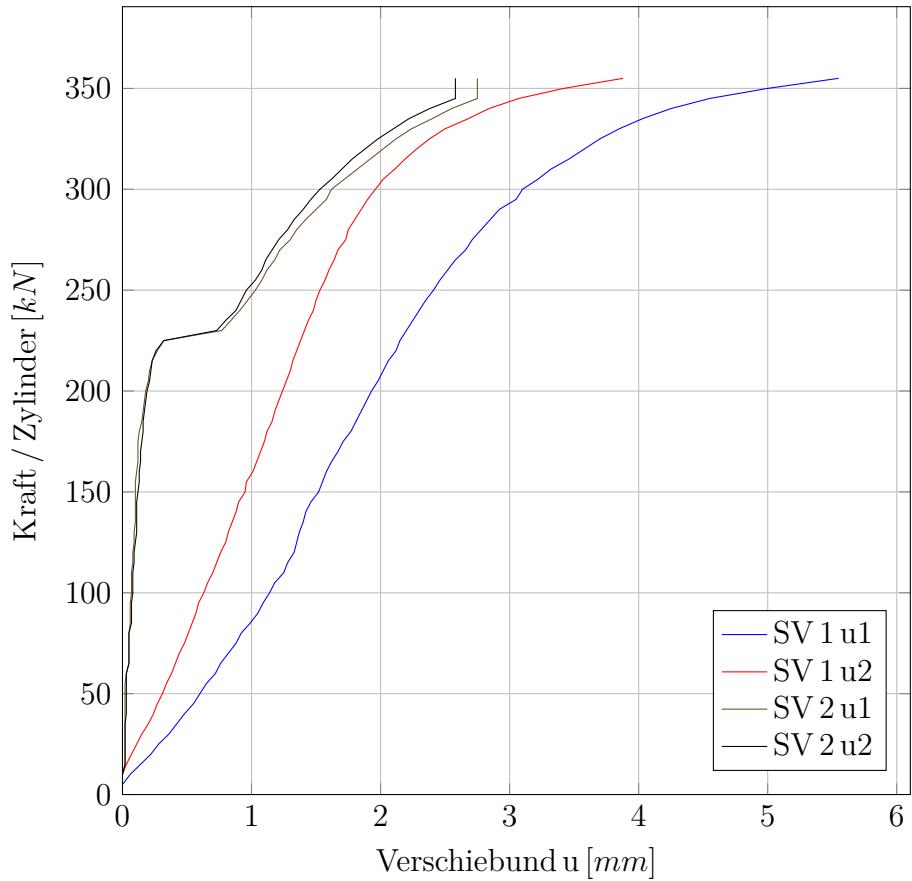


Abbildung 1.62: Schubversuche: Kraft-Verformung

Es zeigt sich, dass der Verschiebungsmodul des Versuchs SV 2 das zehnfache des Ergebnisses aus dem Versuch SV 1 beträgt. Durch die undefinierte Vorbelastung durch den Versuchsablauf und die darauf folgende Manipulation (Lagerung und Bearbeitung des Trägers) kann ohne weitere experimentelle Untersuchungen keine Interpretation der stark streuenden Ergebnisse getroffen werden.

Diese Untersuchungen sind im Rahmen des Forschungsprojektes "Titel blalalalalala (Ali fragen)" vorgesehen.



Abbildung 1.63: Bruchbild des Scherversuch zw. BSP- und Veloxschicht



Abbildung 1.64: SV2: seitliches Versagensdarstellung nach Bruch

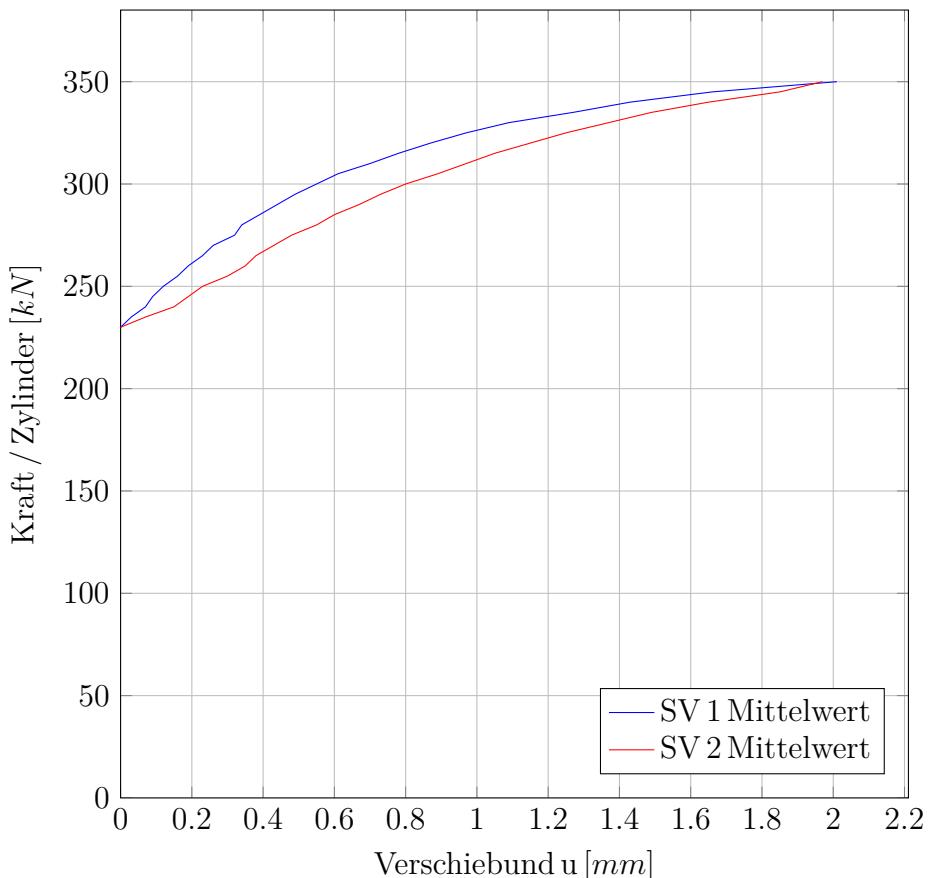


Abbildung 1.65: Vergleich der Kennlinien nach 230 kN

## 1.4 Conclusio und Ausblick

### 1.4.1 Conclusio

#### 1.4.1.1 Biegeversuche

**Lastfall Montage und Transport** Das statische System der durchgeföhrten Biegeversuche ist ein Einfeldträger mit zwei Einzellasten in den Viertel-Punkten. Im Montage- und Transportzuständen können jedoch andere statische Systeme auftreten, welche beim Entwurf der Elemente berücksichtigt werden müssen. Das zeigten insbesondere die Versuche BT 2 und BT 4 (Abschnitt ?? und ??). Dieses Problem kann durch eine entsprechende Anordnung der mechanischen Verbindungsmittel vermieden werden (siehe Versuchskörper BT3, Abschnitt ??).

**Herstellung der Klebefuge** Die Bauteilversuche zeigten, dass folgende Kriterien Einfluss auf die Qualität der Klebefugen hatten.

Eine gute *Verarbeitbarkeit* des Klebers ermöglicht ein gleichmäßiges und rasches Auftragen der Klebemasse auf den Untergrund. Die Verarbeitbarkeit hängt von der Viskosität des Klebers ab. Je flüssiger der Kleber, desto leichter die Verarbeitung. Jedoch müssen beim Auftragen mit der Zahnpeschte die Riefen stehen bleiben.

Die *Klebermenge* ist entscheidend für eine vollständig Vernetzung der zu verbindenden Schichten.

Die Vorverformung (Aufschüsseln durch Lagerung) der Velox-Platten muss bei der Wahl der Klebermenge und beim Verlegen der Platten berücksichtigt werden, um eine vollständige Vernetzung zu gewährleisten.

**Anordnung mechanischer Verbindungsmittel** Die Verankerung der Schrauben im Beton hielt den Belastungen stand. Bei keinem Versuch wurden Schrauben aus dem Beton ausgezogen.

Das Versagen der Schrauben trat entweder durch Herausziehen aus dem Holz oder durch den Bruch in der untersten Klebefuge ein.

Wie eingangs beschrieben dienen die Schrauben im Auflagerbereich auch der Aufnahme der Schubkräfte beim Lastfall Transport.

Die Anzahl der verbauten Schrauben unterscheidet sich bei den beiden Versuchen BT 3 (6 Schrauben je Schraubenreihe) und BT 1 (14 Schrauben je Schraubenreihe) stark. Das Verformungsverhalten war jedoch sehr ähnlich (Abbildung ??). Unter der Lastanordnung in den Biegeversuchen tragen die Schrauben zwischen den beiden Lasteinleitungspunkten wenig zur Biegsteifigkeit des Sandwichträgers bei.

Die Vorschädigungen beim BT 4 (??) zeigen, dass das Fehlen der Schrauben die Qualität der Verbundfuge negativ beeinflusst. Bei Bauteil 3 konnte durch Verwendung von Schrauben das Aufgehen der Klebefugen während dem Aushärten verhindert werden.

**Beton** Der selbstverdichtende Beton ging einen guten Verbund mit dem porösen Werkstoff Velox ein. In keinem Versuch versagte diese Fuge.

### **1.4.1.2 Schubversuche**

Aus den durchgeführten Versuchen kann wegen der Vorbelastung aus den Biegeversuchen kein eindeutiges Schubverformungsverhalten abgeleitet werden (Abschnitt ??).

### **1.4.2 Ausblick**

Es sind weitere Schubversuche notwendig, um Berechnungsparameter ( $k_s$ ) für die Berechnungsmethoden in Abhängigkeit der verwendeten Materialien (z.B. Schubmodul von Holzleichtbeton und Anzahl der Schrauben) zu bestimmen und um die Bemessungsmodelle zu konkretisieren. Es sollen Erkenntnisse zur Anzahl, Anordnung und Geometrie der Schrauben gewonnen werden.

Es sollten Langzeitversuche durchgeführt werden, um das Kriechverhalten des Systems, sowie das Langzeitverhalten von Holzleichtbeton in Zusammenspiel mit den Verbindungsmittel (Schrauben und Kleber) zu untersuchen.

Die Anwendung als Durchlaufträger wurde nicht berücksichtigt. Durch das Auftreten eines negativen Moments, kehren sich Druck- und Zugzone um. Für die Aufnahme der Zugkräfte im Beton sind Bewehrungseinlagen notwendig. Die Anordnung der Schrauben muss an das statische System angepasst werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Schrauben unter Druckbelastung ausknicken können.

Details im Auflagerbereich und im Bereich der Fugen zwischen den vorgefertigten Elementen müssen entwickelt werden. Aus statischer Sicht muss die Scheibenwirkung der gesamten Decke (Abtragen von Horizontallasten) und die Querkraftübertragung zwischen den Elementen gewährleistet sein.

Fertigungsprozess (Fertig-Teilfertigteil)????