

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>3</b>
1.1 Einleitung, Ziele und Vorgehensweise . . . . .	3
1.2 Zusammenfassung der Kapitel . . . . .	4
<b>2 Verbindungsmittel</b>	<b>5</b>
2.1 Schrauben . . . . .	5
2.1.1 Schraubentype: WR – dxL . . . . .	6
2.1.2 Schraubentype: TWIN-UD dxL Sichel . . . . .	7
2.1.3 Schraubentype: WT – T dxL . . . . .	7
2.1.4 Schraubentype: WR – T dxL . . . . .	8
2.1.5 Versuchsaufbau für Schrauben . . . . .	9
2.1.6 Versuchsauswertung . . . . .	9
2.2 Kleber . . . . .	10
2.2.1 Einteilung . . . . .	10
2.2.2 Vor- und Nachteile der Klebverbindungen . . . . .	11
2.2.3 Ermittlung des Kleberbedarfs mit der Sandfleckmethode . . . . .	12
2.2.4 Kleberversuchsreihe 1 . . . . .	13
2.3 Haftzugprüfung . . . . .	14
2.3.1 Versuchsvorbereitung . . . . .	15
2.3.2 Versuchsdurchführung . . . . .	16
2.3.3 2 Kleberversuchsreihe . . . . .	18
<b>3 Aufbau des Großbauteilsversuch</b>	<b>22</b>
3.1 Allgemeines . . . . .	22
3.2 Verwendete Bauteilkomponenten . . . . .	22
3.2.1 Selbstverdichtender Beton, SCC . . . . .	22
3.2.2 Holzspanbeton . . . . .	22
3.2.3 Kreuzlagenholz, CLT . . . . .	23
3.2.4 Verbindungsmittel . . . . .	24
3.3 Herstellung des Sandwichaufbaus . . . . .	25
<b>4 Versuchsaufbau und Durchführung</b>	<b>27</b>
4.1 Verwendete Messmittel und deren Anordnung . . . . .	27
4.2 Wegaufnehmer . . . . .	27
4.2.1 Analoge Wegaufnehmer . . . . .	28
4.2.2 Digitale Wegaufnehmer . . . . .	28

*Inhaltsverzeichnis*

---

4.3 Durchführung des Versuchs . . . . .	29
---	----

# 1 Einführung

## 1.1 Einleitung, Ziele und Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen Diplomarbeit am Institut für Tragwerkplanung und Ingenieurholzbau. Die Diplomarbeit schließt an die Arbeiten von Kirchmayer [1] und Schernberger [2] an. Im Rahmen des Forschungsprojektes "Weitgespannte Flachdeckensysteme in Holzspanbeton – Verbundweise" sind ihre Arbeiten entstanden. Die Arbeit von Schernberger befasst sich mit der allgemeinen Anwendung und den Einsatzgebieten des Holzbetons. Kirchmayer hat anhand von Versuchsreihen das Tragverhalten und Verformungsverhalten verschiedener Aufbauten und Verbindungsmittel untersucht. Durch diese Arbeit ist der dargestellte Sandwichaufbau 1.1 entstanden.

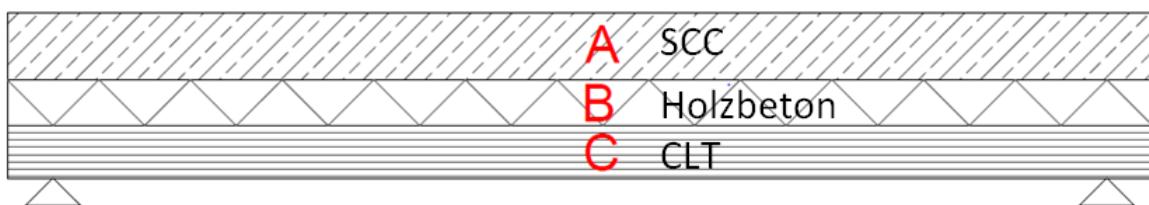


Abbildung 1.1: Sandwichaufbau

**Ziele und Vorgehensweise:** Das erste übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Sandwichaufbaus aus Brettsperrschichtholz (BSP), Holzbeton und selbeverdichtender Beton (SVB). Das zweite Ziel dieser Arbeit ist die Nachrechnung der Versuchsergebnisse mit den „ $\gamma$ -Verfahren“ und dem Finite Elemente Programm „Sofistik“. Es sollen die Grundlagen zur Bemessung des Sandwichaufbaus entwickelt werden. Zusätzlich ist eine ökonomische Betrachtung des Sandwichaufbaus zu erstellen und einen Vergleich mit den gängigen Deckensystemen zu erarbeiten.

Die genannten Ziele sollen mit Hilfe von den experimentellen Großbauteilversuchen erreicht werden. Dabei wird ausschließlich das Kurzzeitverhalten des Sandwichaufbaus untersucht. Die Kurzzeitzdurchbiegung wurde mit 1/400 begrenzt, um für Langzeitverformungen Reserven zu generieren.

Im Nachfolgenden Ablaufdiagramm ist die Vorgehensweise bei der Erstellung der Arbeit ersichtlich.

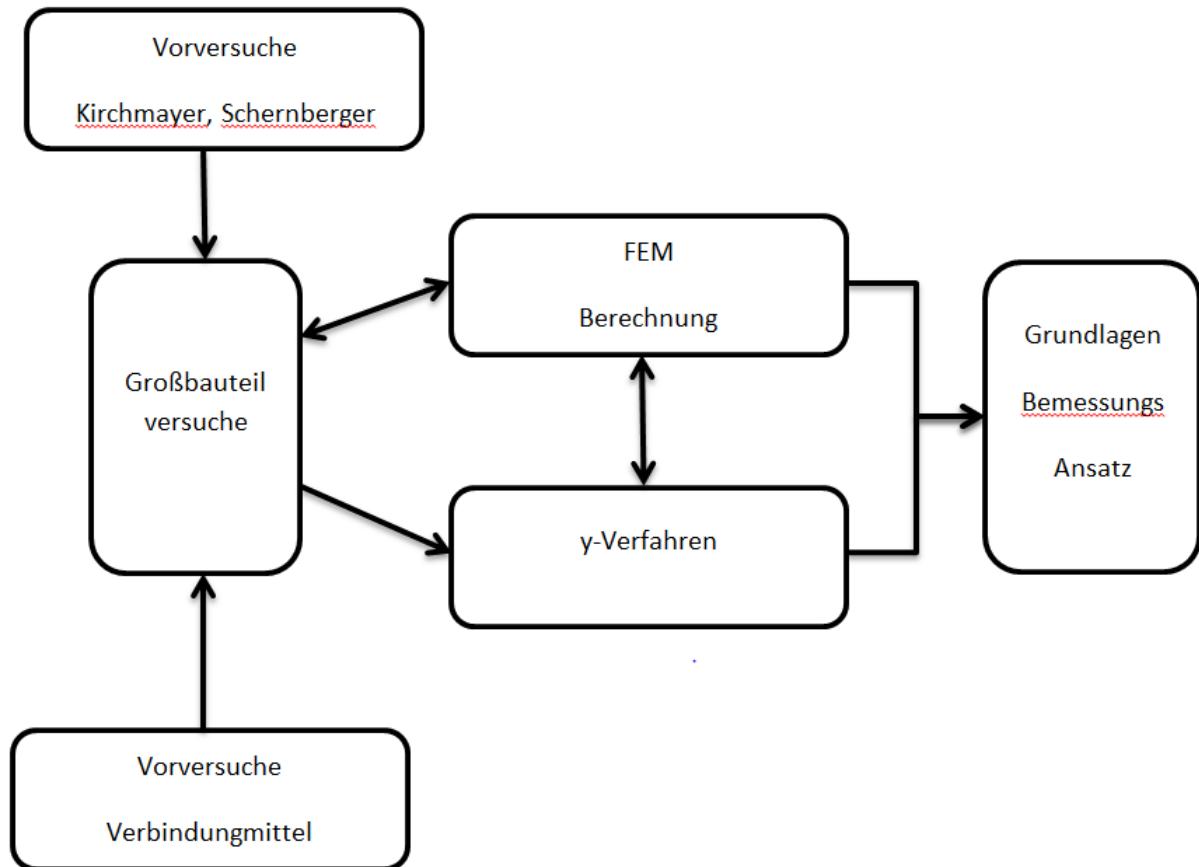


Abbildung 1.2: Ablauforganigramm der Diplomarbeit

## 1.2 Zusammenfassung der Kapitel

1. Zusammenfassung von Vorarbeit
2. Ermittlung der mechanischen Eigenschaften der Verbindungsmittel
3. Versuchsaufbau und Durchführung
4. Beschreibung und Auswertung der Großbauteilversuche
5. Beschreibung der Berechnungsverfahren
6. Vergleich Berechnung Versuche und Berechnungen
7. wirtschaftliche Untersuchungen

## **2 Verbindungsmittel**

Man unterscheidet zwischen metallischen Verbindungsmitteln (Drahtstifte, Schrauben, Verbindungsbeschläge) und nichtmetallischen Verbindungsmitteln (Klebstoffe, Leime, Dübel, Federn).<sup>1</sup>

### **2.1 Schrauben**

Durch den ähnlichen Aufbau des Sandwiches zum Holzbetonverbund - System wurden die Verbundmöglichkeiten des Systems näher untersucht und für das Sandwich adaptiert. Das am häufigsten ausgeführte HBV-System wird mit Verbundschrauben direkt vor Ort hergestellt. Vorteil dieses Systems ist, dass die Schrauben ohne Vorbohren in das Holz eingebohrt werden können. Es gibt mehrere Hersteller, die in der Arbeit von Schernberger [1] aufgelistet sind, die dieses System anbieten. Es wird auch auf die Einsatzmöglichkeiten und die Vor- und Nachteile jedes Herstellers eingegangen. Die Idee war, eine Verbindung zwischen Holz und Beton herzustellen, welche die Schubkräfte abtragen kann und damit den Holzleichtbeton unterstützt. Analog zum herkömmlichen HBV - System, wurde gemeinsam mit Firma SFS das System mit langen Holzschrauben als Schubverbinder entwickelt. Die Firma hat Schraubenreihen in verschiedensten Ausführungsvarianten und entsprechenden Schraubenlängen. Um die Auswahl der Schrauben einzuschränken, wurden folgende Eigenschaften vorgegeben:

1. Einschraubwinkel: 45°
2. Schraubenlänge: 400 mm
3. Einschraubtechnik: ohne Vorbohren
4. Keine Beschädigung der Schrauben beim durchbohren des Holzleichtbetons (Velox)

Der 4 Punkt war aufgrund des Sandwichaufbaus noch nicht überprüft worden. Daher wurden, in Zusammenarbeit mit der Firma SFS verschiedene Schraubentypen getestet.

Die Schrauben unterschieden sich in:

- Schraubenkopfform
- Gewindegliederung
- Schaftform

---

<sup>1</sup><http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/tlex/lemmata/l7/l708.htm>, [06,2013]

- Spitze

Ausgesuchte Schraubentypen:

- WR – dxL
- TWIN – DU dxL Sichel
- WT – T dxL
- TWIN – DU dxL
- WR – T dxL

### **2.1.1 Schraubentype: WR – dxL**

Das Befestigungssystem WR findet hauptsächlich bei großen Querschnitten im Bereich der Verbindungen, Verstärkungen und Stahl-Holz-Anschlüsse, Anwendung. Die Schrauben sind aus Kohlenstoffstahl gefertigt. Der Schraubendurchmesser ist wählbar zwischen 9 mm oder 13 mm. Die Schrauben sind in den Längen von 250 mm bis 1000 mm verfügbar. Die Oberfläche der Schraube ist mit einem Durocoat überzogen, der als Korosionsschutz und als Gleitmittel fungiert.

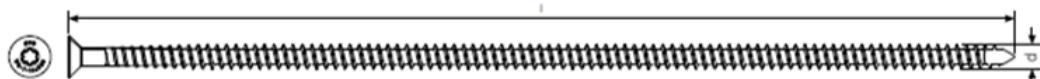


Abbildung 2.1: Schraubentype: WR - dxL

#### **Positive Eigenschaften nach Hersteller[], sind:**

- sehr hohe Leistungsfähigkeit
- breites Anwendungsspektrum
- Verschraubung auch paralell zur Faserrichtung möglich
- keine Abminderung der Tragfähigkeit von  $90^\circ - 45^\circ$  zur Faser
- Verarbeitung ohne Vorbohren
- geringe Spaltneigung
- unsichtbare Verbindung

### 2.1.2 Schraubentypen: TWIN-UD dxL Sichel

Das System TWIN DU wird seit Jahren für die Befestigung von Aufsparrendämmung auf Dächern und hinterlüftete Fassaden verwendet. Die Schrauben sind aus Kohlenstoffstahl gefertigt. Der Schraubendurchmesser beträgt 7,5 mm und die Schraubenlänge variiert im Bereich von 160 mm bis 480 mm. Die Oberfläche der Schraube ist mit einem Durocoat überzogen, der als Korosionsschutz und als Gleitmittel fungiert.



Abbildung 2.2: Schraubentypen: TWIN-UD dxL Sichel

#### Positive Eigenschaften nach Angaben des Herstellers [], sind:

- Holzbohrspitze reduziert die Spaltgefahr des Holzes
- optimiertes Doppelgewinde ohne Gangunterschied
- Rändel für erleichtertes Eindrehen
- mehr Leistung durch angepasste Gewindedurchmesser
- hohe Traglast auf Zug und Druck dank Doppelgewinde
- minimale Wärmebrücken bei vollflächiger Dämmung
- einfache Arbeitsschritte- minimaler Arbeitsaufwand
- Dämmstärken von 60 mm bis 300 mm möglich

### 2.1.3 Schraubentypen: WT – T dxL

Das Befestigungssystem WT ist für den universellen Einsatz im konstruktiven Holzbau in Gebrauch. Die Schrauben sind aus Kohlenstoffstahl gefertigt. Der Schraubendurchmesser ist wählbar zwischen 6,5 mm oder 8,2 mm. Die Schrauben sind in den Längen von 65 mm bis 330 mm verfügbar. Die Oberfläche der Schraube ist mit einem Durocoat überzogen, der als Korosionsschutz und als Gleitmittel fungiert.

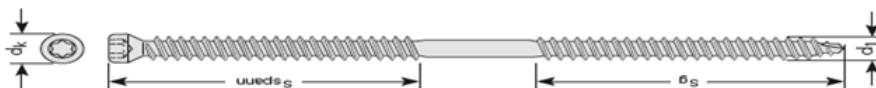


Abbildung 2.3: Schraubentypen: WT-T dxL

**Positive Eigenschaften nach Hersteller[], sind:**

- Einfache und sichere Berechnung
- Vielfältiges Anwendungsspektrum
- Dauerhafte Verbindung bei hoher Tragfähigkeit
- Schnelles, effizientes Verarbeiten ohne Vorbohren
- Formschlüssige Verbindung dank Doppelgewinde
- Hoher Brandwiderstand
- Anspruchsvolle Ästhetik dank versenkter Befestigungsmittel

#### **2.1.4 Schraubentype: WR – T dxL**

Das Befestigungssystem WR-T ist für den universellen Einsatz im konstruktiven Holzbau in Gebrauch. Die Schrauben sind aus Kohlenstoffstahl gefertigt. Der Schraubendurchmesser ist wählbar zwischen 9 mm oder 13 mm. Die Schrauben sind in den Längen von 250 mm bis 1000 mm verfügbar.

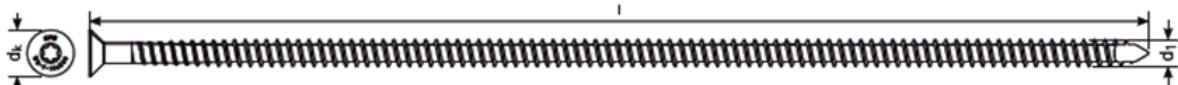


Abbildung 2.4: Schraubentype: WT-T dxL

**Positive Eigenschaften nach Angaben des Herstellers [], sind:**

- hohe Tragfähigkeit
- einfache Verarbeitung
- hoher Brandwiderstand der Verbindung
- schnelle Montage ohne Vorbohren
- Verbindungsmittel nicht sichtbar

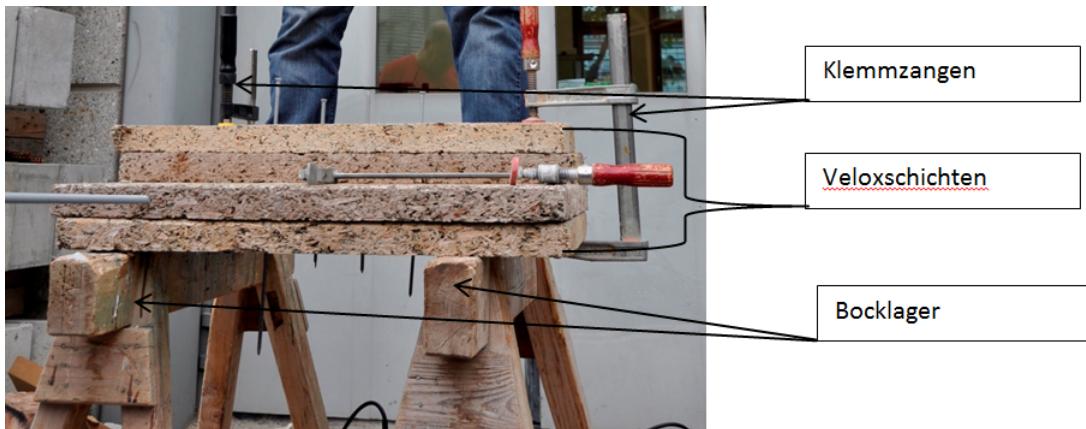


Abbildung 2.5: Schraubenversuchsaufbau

### 2.1.5 Versuchsaufbau für Schrauben

Bei der Produktion werden zuerst die Holzbetonplatten auf die BSP geklebt und anschließend die Schrauben durch die Holzbetonplatten in die BSP eingeschraubt. Die Versuchsdurchführungen sollen sicherstellen, dass nach der Durchdringung der Holzleichtbetonschicht, das Gewinde und die Spitze keinen Schaden nehmen und damit eine einwandfreie Verbindung im Holz zustande kommt.

Es wurden 4 Lagen Veloxplatten zu je 5cm übereinandergelegt und mit Klemmzangen zusammengehalten. Um das Durchbohren und die anschließende Besichtigung der Schrauben zu ermöglichen, wurden die Platten auf Holzböcken gelagert.

### 2.1.6 Versuchsauswertung

In Abbildung 2.6 sind die Schraubenspitzen nach dem Durchbohren der Veloxplatten dargestellt. Es ist ersichtlich, dass keine der Schrauben beschädigt worden ist. Weiters war beim Einbohren der Schrauben, kein Unterschied im Kraftaufwand festzustellen.

Die Auswahl der Schraube erfolgte aufgrund der folgenden Kriterien. Um über den gesamten Einbohrvorgang eine Führung zu gewährleisten, wurde eine Gewindestruktur über die gesamte Schraubenlänge bevorzugt. Zusätzlich kann durch das Gewinde, ein besserer Auszugswiderstand aus dem Beton gewährleistet werden. Die Bandbreite der Schraubenlänge beträgt 250 mm bis 1000 mm. Die Spitze war ein weiteres Entscheidungskriterium, hierbei wurde darauf geachtet, dass sich die Schraube problemlos mit einem einfachen Hilfsmittel (Hammer) ansetzen ist. Der Schraubenkopf sollte eine große Fläche vorweisen, damit ein guter Verbund mit dem Beton entsteht. Durch die Vorgabe, von einer lichten Weite bis zu 10 m und damit die einhergehende Bauteilerhöhung muss auch die Schraubenlänge noch erweiterbar sein.

Alle Kriterien erfüllte die Schraubentypen: WR – T dxL

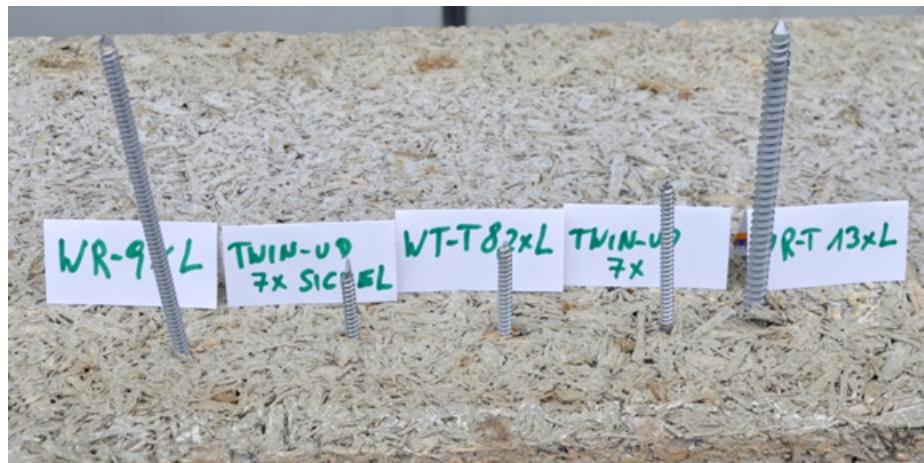


Abbildung 2.6: Schraubenwertung

## 2.2 Kleber

Unter Kleben (nach EN DIN 923,[]) versteht man: Fügen gleicher oder ungleicher Werkstoffe unter Verwendung eines Klebstoffes.

Klebstoffe sind (nach EN DIN 923,[]) nichtmetallische Stoffe, die Fügeteile durch Flächenhaftung und innere Festigkeit(Adhäsion und Kohäsion) verbinden.

### 2.2.1 Einteilung

Die Einteilung der Klebestoffe wird in Habenicht[] auf zwei Arten angeführt. Zum einem auf der chemischen Basis und nach dem Abbindemechanismus.

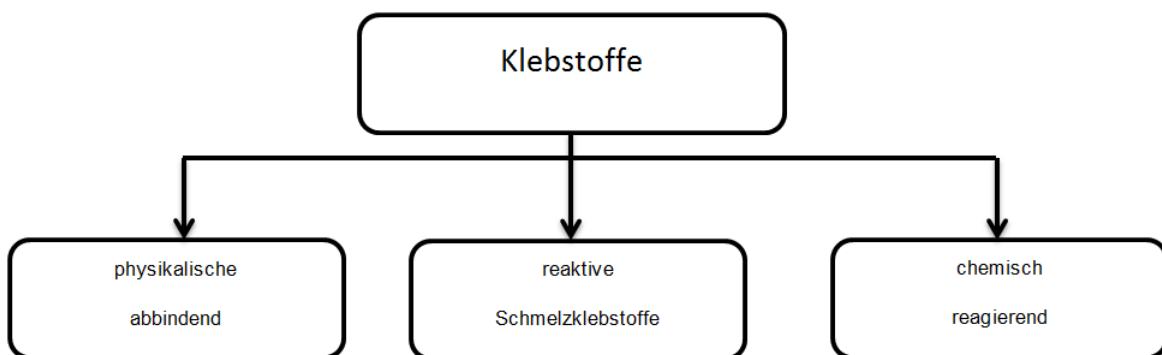


Abbildung 2.7: Einteilung der Klebstoffe nach dem Abbindemechanismus, []

## **2.2.2 Vor- und Nachteile der Klebverbindungen**

Habenich [] hat die Vor- und Nachteile des Klebens gegenüber Schweißen, Löten, Schrauben, und Nieten beschrieben.

### **Vorteile von Klebungen,[4, Tabelle 7.1]**

- gleichmäßige Spannungsverteilung senkrecht zur Belastungsrichtung
- keine Thermische Gefügebeeinflussung
- kein thermisch bedingter Bauteilverzug
- Verbindungsmöglichkeit für unterschiedliche Materialkomponenten
- Gewichtersparnis, Leichtbau
- Verbindungsmöglichkeit für sehr wärmeempfindliche Werkstoffe
- Festigkeitserhöhung in Verbindung mit Schrauben
- hohe dynamische Festigkeit, hohe Schwingungsdämpfung
- Möglichkeit zur Automatisierung

### **Nachteile von Klebungen, [4, Tabelle 7.2]**

- Einfluss der Zeit auf den Verfahrensablauf
- Oberflächenvorbehandlung der Fügeteile
- begrenzte thermische Beständigkeit
- sorgfältige Prozesskontrolle
- Alterungsabhängigkeit der Klebschicht und Grenzschicht
- aufwendige Kontrollverfahren
- geringe Schälwiderstände, Kriechneigung
- begrenzte Reparaturmöglichkeiten
- aufwendige Festigkeitsberechnungen
- Demontage von Klebungen

Bei der Auflistung der Vor -und Nachteile können die Nachteile durch die vorgesehene Verwendung fast alle entschärft werden. Die Vorteile der Verbindungsmethode sind zumeist zutreffend. Aus diesen Überlegungen ist die Anwendung der Klebeverbindung beim Sandwichbauteil gerechtfertigt.

### 2.2.3 Ermittlung des Kleberbedarfs mit der Sandfleckmethode

Mit der Sandfleckmethode wird die Rauigkeit von porösen Materialien bestimmt und mit einem Formelwerk der Bedarf ermittelt.

**Durchführung** Es wird 15 g feiner Sand mit einer Körnung von 0,1 - 0,2 mm in einen kleinen Behälter gefüllt. Anschließend wird der Sand auf dem porösen Material aufgebracht [Abbildung 2.8] und mit Hilfe eines Stempels kreisförmig verteilt. Somit werden die oberflächigen Hohlräume (Poren) ausgefüllt. Der mittlere Durchmesser des „Sandflecks“ wird anschließend gemessen [Abbildung 2.9]. Anhand des Durchmessers und des Volumens wird die Rautiefe bestimmt. Mit Rautiefe und zusätzlichen Parametern (Spachtelfaktor, Schichtdicke) wird der Kleberverbrauch berechnet.



Abbildung 2.8: Aufgeschütteter Sandfleck



Abbildung 2.9: Ermittlung des mittleren Durchmessers

#### Berechnung des Kleberbedarfs: SikaTop-109 ElastoCem, nach Sika Angaben:

- mittlere Durchmesser:  $D=11\text{cm}$
- Sandvolumen:  $V=0,01L$
- Dichte:  $\rho=1.60 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$
- Trägerabmessung(l x b):  $7,40 \times 0,50 \text{ m}$

#### Annahmen:

- Spachtelfaktor:  $f_{sp} = \frac{2}{3}$
- Schichtdicke:  $f_{sd} = 3\text{mm}$

**Berechnung der Rauigkeit:**

$$r = \frac{V * 4}{\pi * d^2} = 1,052 \text{ mm} \quad (2.1)$$

**Kleberbedarf pro Fläche**

$$b_K = 2 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * f_{sd} = 6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad (2.2)$$

**Kleberbedarf für Porenverschluss**

$$b_{K,P} = r * \rho * f_{sd} = 1,122 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad (2.3)$$

**Bedarf für CLT-Velox-Schichte**

$$B_{CLT-Velox} = Kb * l * b = 22,22 \text{ kg} \quad (2.4)$$

**Bedarf für Velox-Velox-Schichte**

$$B_{Velox-Velox} = (Kb + Kp) * l * b = 26,35 \text{ kg} \quad (2.5)$$

**Benötigter Kleber für den gesamten Träger**

$$B_{gesamt} = B_{CLT-Velox} + 2 * B_{Velox-Velox} = 74,91 \text{ kg} \quad (2.6)$$

## 2.2.4 Kleberversuchsreihe 1

Beim 1 Großbauteilversuch traten einige Probleme bei der Verarbeitung des Kleber Sikadur 31 auf. Dieser Kleber wurde auch von Kirchmayer bei seinen Verbundversuchen verwendet. Da der Aufbau von Kirchmayer kleiner war und somit auch die Klebermenge geringer, hatte er keine Probleme bei der Verarbeitung. Der Kleber entwickelt bei großen Mischmengen eine schnelle Aushärtezeit und war beim Auftragen über den gesamten Träger sehr schwer zu Verarbeiten. Dies war auch bei der Ansicht, von Teilen des Versuchskörpers ersichtlich. In der Abbildung 2.10 sind größere Teilflächen zu erkennen, auf denen keine oder nur geringe Spuren des Veloxmaterials haften blieb. Dies ist auf die ungenügende Verarbeitung zurückzuführen. Um den eine bessere Verarbeitung zu gewährleisten und wirtschaftlichere Kleber zu verwenden, wurden alternative und kostengünstigere Kleber untersucht.

In Abstimmung mit der Firma Sika wurde die Anwendung abgeklärt und folgende Kleber getestet:

- Sikafloor 161
- ElastoCem 109
- SikaForce 7710 L35



Abbildung 2.10: Verbundfläche von der Kleberschicht: BSP-Velox

auf folgende Eigenschaften der Kleber wurde näher eingegangen :

- Verarbeitbarkeit
- Haftzug
- Verbrauch

**Anmischen:** Die untersuchten Kleber basieren alle auf einem 2- Komponenten-System. Daher mussten die Komponenten nach dem vom Hersteller angegebenen Mischverhältnis abgemischt werden. Um eine einheitliche Masse zu erhalten, wurden die 2 Komponenten mit einem Quirl vermischt. Der Kleber Sikafloor 161 wurde noch zusätzlich mit einem Thixotropierungsmittel verarbeitet.

**Auftragen:** Zuerst wurden die oberflächigen Poren vom Holzbeton (Velox) mit Hilfe einer Spachtel verschlossen. Anschließend wurde der Kleber mit einer Zahnpachtel aufgetragen.

## 2.3 Haftzugprüfung

Um den Verbund der Kleber mit der Veloxplatte zu untersuchen, wurde die Haftzugprüfung angewendet. Die Haftzugprüfung wurde mit den angeführten Klebern durchgeführt. Zusätzlich wurde eine Prüfung ohne Kleber (nur auf das Velox) durchgeführt, um einen Referenzwert zu erhalten. In der Abbildung 2.11 ist das Prüfeinheit dargestellt.



Abbildung 2.11: Prüfgerät:Dynameter Z16E

### 2.3.1 Versuchsvorbereitung

1. Anmischen des 2 Komponentkleber
2. Auftragen der Kleber auf das Velox.
3. Aushärtezeit: 1 Woche
4. 3 Kernbohrungen wurden auf jeden Versuchskörper aufgebracht
5. Aufwärmen der Prüfstempel (Beschleunigung der Aushärtung)
6. Abmischen des Klebers des Klebers für die Kraftübertragung zwischen dem Stempel und den Testkleber
7. Auftragen des Klebers (Uhuplus oder X60)
8. Aufbringen des vorgewärmten Prüfstempels
9. Aushärten des abgemischten Klebers (15 min oder 4 min)

In den nachfolgenden Abbildungen 2.12 - 2.15 sind die getrockneten Kleber und die aufgeklebten Prüfstempel ersichtlich.



Abbildung 2.12: Versuchsplatte (Sika-Force 7710 L35)



Abbildung 2.13: Versuchsplatte (Sikatop-109 Elastocam)



Abbildung 2.14: Versuchsplatte (Sikafloor 161))



Abbildung 2.15: Versuchsplatte (ohne Kleber)

### **2.3.2 Versuchsdurchführung**

1. Einschrauben des Bolzens in den Stempel
2. Aufstellen des Haftzugprüfgeräts (Dynameter Z16E)
3. Einfädeln des Bolzens in die Einkerbung
4. manuelles Kraftaufbringen durch die Handkurbel
5. Ablesen der max. Kraft auf dem Messgerät

In der Abbildung 2.16 ist die Messeinheit mit den beschrifteten Hauptbestandteilen dargestellt.



Abbildung 2.16: Dynameter Z16E

Tabelle 2.1: Messergebnisse Haftzugprüfung

Versuchsplatte	Kraft [kN]	Durchschnitt [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]	Durchschnitt [N/mm <sup>2</sup> ]
1 Versuch: Sika Force	1,47	1,45	0,75	0,74
	1,56		0,79	
	1,32		0,67	
2 Versuch: Sikatop 109	0,74	0,77	0,38	0,39
	0,77		0,39	
	0,80		0,41	
3 Versuch: Sikafloor 161	2,11	2,04	1,07	1,04
	1,82		0,93	
	2,20		2,12	
4 Versuch: nur Velox	0,84	0,82	0,43	0,42
	0,80		0,41	

### Zwischenfazit:

Die Kleber Sika Force und Sikafloor 161 haben sehr gute Klebeeigenschaft, die man anhand der Versuchsergebnisse 2.1 erkennen kann. Es versagte bei den beiden nicht der Kleber sondern das Velox. Die innere Festigkeit vom Velox war geringer, als die des Klebers.

Beim Kleber Sikatop hat nicht das Velox versagt, sondern der Kleber. Es ist zu vermuten, dass das Velox eine höhere innere Festigkeit hat als der Kleber hat. Da der Kleber ElastoCem 109 auf Zementbasis basiert, ist eine Aushärtezeit von 28 Tagen erforderlich, damit er seine Endfestigkeit erreicht. Somit werden die Ergebnisse der Haftzugprüfung nach einer Woche unterschätzt. Die Haftzugfestigkeit wird im Produktdatenblatt der Fa. Sika mit  $0,7 \text{ N/mm}^2$  geführt. Daher ist zu erwarten, dass die innere Festigkeit des Klebers mit längerer Aushärtezeit ansteigt. Aufgrund der einfachen Vorbereitung und der guten Verarbeitung haben wir uns für den Kleber **ElastoCem 109** für den Sandwichbauteil entschieden. Die innere Festigkeit sollte laut dem Produktdatenblatt[] nach entsprechender Aushärtezeit, höher als die vom Velox sein. Durch die Verwendung des Aufbetons muss eine entsprechende Aushärtezeit für den Bauteil vorgesehen werden und ergibt daher die keine Einschränkung für den Kleber.

### 2.3.3 2 Kleberversuchsreihe

Es wurden nach dem 2 Großbauteilversuch weitere Kleberversuche durchgeführt. Der Grund war, dass der Kleber ElastoCem 109 schon beim einheben in die Prüfeintichung Beschädigungen aufwies. Es waren schon Teile der Veloxschichten nicht mehr miteinander verbunden. Dies war vor allem bei den Auflager ersichtlich. Durch den nicht vorhandenen Verbund waren auch Zugrisse in der Aufbetonschicht aufgetreten. In den Abbildungen 2.17 und 2.18 ist dargestellt, in welchen Ausmaß sich die Veloxplatten von einander lösten. Die Messlatte war 30 cm lang und die Unterteilungen kennzeichnen 5 cm Schritte.



Abbildung 2.17: Verbundlosigkeit beim Auflager A



Abbildung 2.18: Verbundlosigkeit beim Lager B

Es wurde wieder in der Absprache mit der Firma Sika ein 2- Komponenten Kleber Si-



Abbildung 2.19: Versuchskörper: Sikatop 107 auf Holz



Abbildung 2.20: Versuchskörper: Sikatop auf Velox

kaTop 107 gewählt. Dieser Kleber hat etwa die doppelte Festigkeit (lt. Produktdatenblatt[]) des Kleber ElastoCem 109. Er besitzt die gleichen Verarbeitungsvorteile wie der Kleber ElastoCem 109. Um das Verbundverhalten des Klebers mit dem CLT-Holz zu untersuchen, wurden Versuchsproben erstellt. Der Aufbau und Ablauf entsprach der Versuchsreihe in Abschnitt [Haftzugprüfung] Versuchsreihe. In Abbildungen 2.19 und 2.20 sind die Versuchskörper für das BSP (H1-H3) und für das Velox (V1-V3) dargestellt.

Der Kleber Sikatop 107 wurde mit dem Mischverhältnis von 1:4,5 abgemischt und auf die Probenkörper aufgetragen. Vor dem Auftrag wurde das Holz und das Velox noch befeuchtet, da beim aushärten des Klebers ein Feuchtigkeitstransport in das Holz stattfindet. Um einen Vergleich zu der ersten Versuchsreihe zu erhalten, härtete der ebenfalls eine Woche aus. Der Ablauf der Haftzugprüfung erfolgte ident zu den vorigen Versuchen.

In Abbildung 2.21 sind die Proben mit den dazugehörigen Bruchflächen dargestellt. Einige Stempel weisen rot markierte Stellen auf, da in diesem Bereich der schnellhärtende Epoxidkleber (UHU-Plus) nicht geklebt hat. Daher wurde bei der Spannungsberechnung die Fläche ( $D = 5\text{cm}$ ) um diesen Anteil abgemindert. [Tabelle:2.2]



Abbildung 2.21: Bruchflächen der Proben (SikaTop 107); rote Markierung: fehlender Verbund zwischen schnellhärkenden Epoxidkleber und Stempel

Tabelle 2.2: Auswertung der 2 Kleberversuchsreihe, CLT

Sikatop auf CLT					
Versuchsplatte	Kraft [kN]	Durchschnitt [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]	Abminderung [%]	Durchschnitt [N/mm <sup>2</sup> ]
1 Versuch: H1	1,25	1,12	0,85	25,0	1,18
	0,99		1,51		
2 Versuch: H2	1,46	1,66	1,30	43,0	1,13
	1,86		0,95		
3 Versuch: H3	1,07	1,67	0,62	12,0	0,89
	2,27		1,16		

Tabelle 2.3: Auswertung der 2 Kleberversuchsreihe, Velox

Sikatop auf Velox				
Versuchsplatte	Kraft [kN]	Durchschnitt [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]	Durchschnitt [N/mm <sup>2</sup> ]
1 Versuch: V1	0,34	0,46	0,17	0,0
	0,56		0,30	0,23
2 Versuch: V2	0,52	0,46	0,26	0,0
	0,39		0,20	0,23
3 Versuch: V3	0,26	0,45	0,13	0,23
	0,64		0,33	

**Fazit:** Die Versuchsergebnisse weisen eine starke Streuung auf. Bei Versuch V3 beträgt der Messwert der zweiten Probe mehr als das Doppelte der ersten Messung. Berechnet man jedoch einen Mittelwert, weichen die Werte kaum voneinander ab. Hier ist auch ersichtlich, für die Haftzugversuche mit Velox, dass bei jeder Probe die innere Festigkeit des Velox zu gering war.

# 3 Aufbau des Großbauteilsversuch

## 3.1 Allgemeines

Die durchgeführten Versuche unterschieden sich nur in der Verwendung von unterschiedlichen Verbindungsmittel. Es wurde zum einen die Anzahl der Schrauben variiert und zum anderen die mit unterschiedlichen Klebern experimentiert. Die Schichtenhöhe wurde nicht verändert, um die Auswirkungen der verschiedene Verbindungsmittel zu erkennen.

Der Schichtenabfolge und die Schichtenhöhe bzw. die Bauteilhöhe war bei allen Versuchen unverändert. In der Abbildung ist der Sandwichaufbau 3.1 mit den verwendeten Dicken dargestellt.

1. SCC
2. Velox
3. CLT

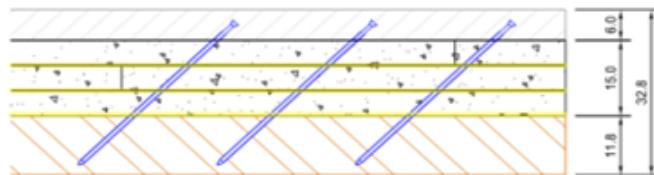


Abbildung 3.1: Sandwichaufbau

## 3.2 Verwendete Bauteilkomponenten

### 3.2.1 Selbstverdichtender Beton, SCC

Die Verwendung des SCC ist auf seine Vorteile zurückzuführen. Es 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 Werstoff, Holzbeton (Velox) gewährleistet. Die Betonschicht wurde auf eine minimale Dicke von 6cm reduziert. Das Limit ergibt sich aus der Verankerungslänge der Schrauben (4 cm) und der zuzüglich Betondeckung von 2 cm. Die Betonrezeptur hat Herr Dipl.Ing. Kirchmayer in den Versuchen ausgearbeitet und wurde von uns übernommen.

### 3.2.2 Holzspanbeton

Holzspanbeton besteht aus den Komponenten Zement, Sägespänen, Wasser, und Additiven und eventuellen Zuschlagstoffen. Die Auswahl des Materials geht auf die Vorversuche

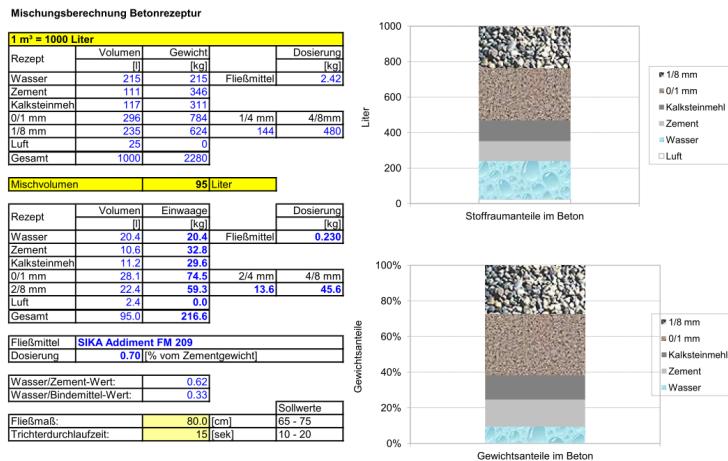


Abbildung 3.2: Beton-Mischrezeptur [4], mit Okamurarechner

von Herrn Kirchmayer bzw. Herrn Schernberger zurück. Die Verwendung der Veloxplatten stellte sich bei der Verarbeitung als sehr gut heraus. Jedoch muss erwähnt werden, dass bei den Versuchen zumeist das Velox versagt hat, und somit auch zusätzliche Verbindungsmittel angewendet werden müssen. Die Abmessungen der Holzbetonschicht und der Holzplatte ergaben sich aus einem Vielfachen der Dicke der Velox-Platten (50 mm) und aus Vorberechnungen mit den FEM-Programm SSofistik". Die Veloxplatte ist ein Industrieprodukt das ausführlich in der Ausarbeitung von Kirchmayer beschrieben wird.

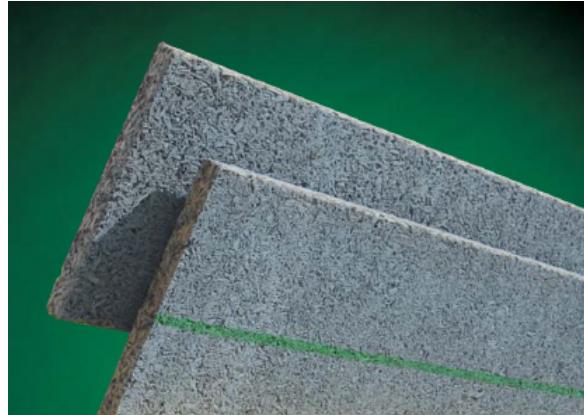


Abbildung 3.3: Holzspanplatte WS 50 der Firma Velox

### 3.2.3 Kreuzlagenholz, CLT

Die CLt-Platte ist ein flächiges Holzprodukt aus mindestens drei rechtwinkelig zueinander verleimten Schichten. CLT-Produkte zählen zu den Holzmassivbauweisen und kön-

nen mit großen Abmessungen hergestellt werden. Aufgrund der Vorgabe die Spannweite 7,20m zu Überspannen wurde dieses Produkt gewählt. Es wurde auch schon in den Vorversuchen von Herrn Kirchmayer angewendet und gute Erfahrungen damit gemacht. Die Vorteile hat ebenfalls Herr Kirchmayer in seiner Arbeit schon ausgearbeitet.

Es wurde für alle Großbauteilversuche das Produkt BSP 118 3s DL ind. von der Mayr Mehlhof verwendet. In der Abbildung 3.4 ist ein Beispielbild einer 5 schichtigen CLT-Platte dargestellt.



Abbildung 3.4: 5 - schichtige Brettsperrholzplatte (CLT)

### **3.2.4 Verbindungsmittel**

Um den 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. Die Verbindungsmittel wurden von uns auch weiter verwendet.

- Schrauben

Die verwendeten Schrauben sind durch die Versuche ( siehe Kapitel 2.1) ausgewählt worden.

- SFS Intec WR-T-9x400

- Kleber

Die angeführten Kleber im Kaptitel 2.2 Vorversuche beschrieben.

- Sikadur-31 AUT Normal Komp. B
  - ElastoCem-109
  - Sikatop 107

### 3.3 Herstellung des Sandwichaufbaus

Die Herstellung der Versuchskörper war bei allen Proben ident. Wie schon ange- sprochen waren die Verbindungsmitte unterschiedlich angeordnet oder ausgeführt. Zu Beginn der Arbeiten haben wir alle Bauteilkomponenten bereitgelegt. Der zweikomponenten Kleber wurde mit dem Mischverhältnis, das vom Hersteller angegeben wird, abgemischt. Die erste Kleberschicht wurde auf die CLT-Platte aufgetragen. Der Auftrag erfolgte mit einer 8 mm Zahnpachtel. Für die Verarbeitungszeit des Klebers war laut Datenblatt 45 min Topfzeit vorgegeben. Auf die Kleberschicht wurden die Veloxplatten aufgelegt. Dieser Vorgang wiederholte sich zwei mal, um auf die vorgegebene Schichtdicke zu kommen



Abbildung 3.5: Kleberauftrag auf die CLT-Platte



Abbildung 3.6: Einschrauben der Schrauben

Im nächsten Schritt wurde anhand des zuvor angefertigte Bohrmusters auf die obere Veloxschicht gekennzeichnet. Die Schrauben wurden mit einem Hilfswinkel und einem Hammer angesetzt um die geforderten 45 einzuhalten. Die Schrauben wurden anschließend ohne Vorbohren mit einer Bohrmaschine in den Bauteil eingebohrt. Um den Verbund mit dem Beton zu erhalten, stehen die Schrauben 4 aus dem der oberen Veloxschicht heraus. Dieser Schritt wurde bei dem Bauteil ohne Schrauben nicht gemacht

Der letzte Schritt vor dem betonieren war, dass 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 erhält, haben wir uns zwei Holzstücke mit den geforderten 6 cm gefertigt. Somit hatte sich das Einrichten der Bretter, einfach gestaltet. Die Bretter wurden mit Schrauben, die in die Veloxschicht eingeschraubt worden sind, befestigt. Durch die Befestigungsart der Schalung, war das Ausschalen des Trägers mit geringer Arbeit verbunden.



Abbildung 3.7: Befestigung der Schalung

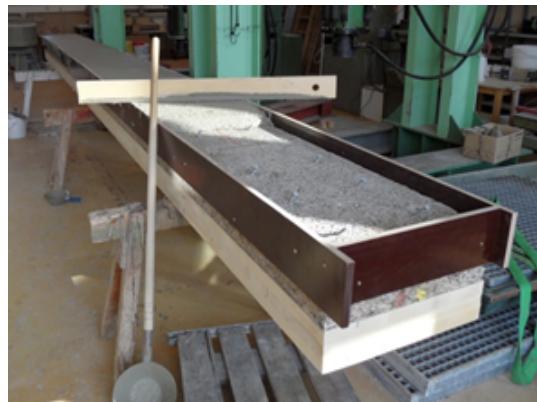


Abbildung 3.8: Aufbrinden des SCC

Abschließend wurde der Beton hergestellt. Die einzelnen Bestandteile wurden nach der Betonrezeptur [Abbildung: 3.2] exakte eingewogen und danach mit einem Zwangsmischer vermischt. Der Beton wurde von Hand aufgebracht. Zum Schluss wurde der Beton mit einer Latte abgezogen und mit einem Schwert geglättet. Für die Lagerung wurden 2 Böcke verwendet, die in den 1/4 Punkten des Trägers angeordnet worden sind.

## 4 Versuchsaufbau und Durchführung

Der Versuchsaufbau und die Abmessungen waren bei allen Versuchen wie in der Abbildung 4.2 dargestellt. Es handelt sich um einen 4-Punkt-Biegeversuch. Beim 4-Punkt-Biegeversuch wird die Prüfprobe auf 2 Auflagen (rote Dreiecke) positioniert und in den 1/4 Punkten mit der Kraft (F) belastet. Der Vorteil besteht darin, dass zwischen den beiden Krafteinleitungspunkten ein konstantes Biegemoment herrscht. Der Versuchsaufbau ist einfach und er bildet die reale Belastung (Flächenlast) am besten ab.

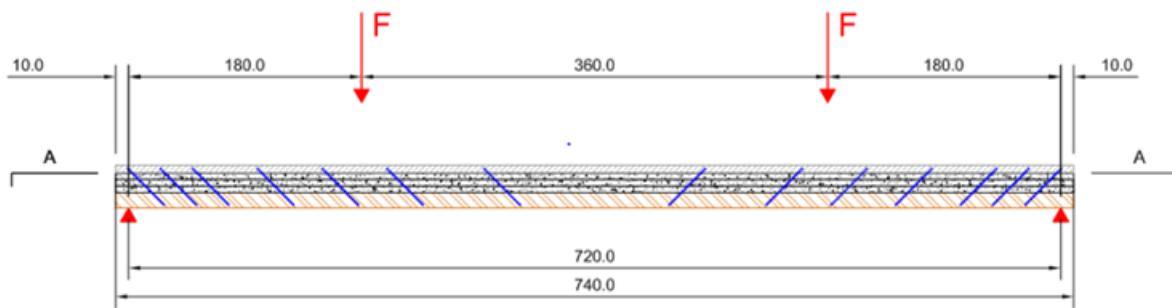


Abbildung 4.1: Versuchsaufbau mit Lagerung und Lasteinleitung

### 4.1 Verwendete Messmittel und deren Anordnung

Bei dem ersten und zweiten Großbauteilversuch wurde die Verschiebung noch manuell von den Messuhren abgelesen. Bei den Versuchen 3 und 4 wurde Messaufnehmer verwendet, die anschließend beschrieben werden. Die Aufnahme der Verschiebung erfolgte bei allen Versuchen an der gleichen Stelle. Die Messaufnehmer für die Trägerdurchbiegung, wurden in der Trägermitte und unter der Lasteinleitung angeordnet. Weiters wurde auf beiden Trägerenden Messaufnehmer angebracht, um die Verschiebung zwischen Betonschicht und der CLT-Schicht zu messen.

In der Abbildung 4.2 sind die Messpunkte skizziert und beschriftet.

### 4.2 Wegaufnehmer

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Wegaufnehmer beschrieben.

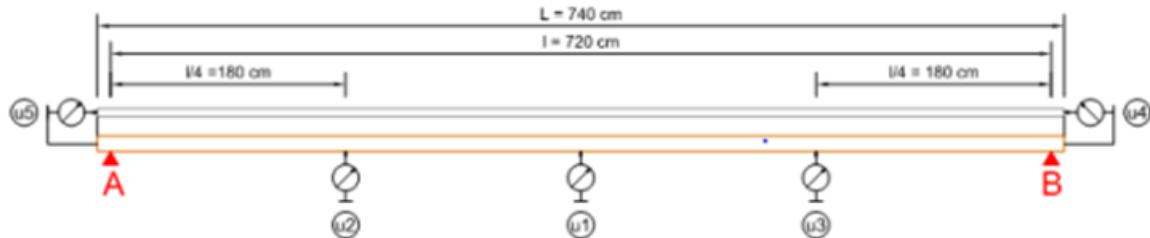


Abbildung 4.2: Anordnung der Messpunkte



Abbildung 4.3: Mess- und Auflagerpunkte

- u1.1/ u1.2: Durchbiegung in Feldmitte auf beiden Seiten des Trägers
- u2/u3: Durchbiegung bei  $l/4$
- u4/u5: Verschiebung der Betonschicht gegenüber der Holzschicht an beiden Enden des Trägers
- u4/u5: Krafteinleitung F ist im  $l/4$  Punkt
- A/B Stellen bezeichnend die Auflagerpunkte

#### 4.2.1 Analoge Wegaufnehmer

Es wurden analoge Messuhren von der Fa. Käfer verwendet. Die Messuhren besaßen einen Messweg von  $7\text{ cm}$  und haben eine Messgenauigkeit von  $1/100\text{mm}$ . Die Vorrichtung für die vertikale Verschiebung, wurde mit einem Standfuss ausgeführt. Auf den Standfuss wurden die magnetischen Halteeinrichtungen angebracht, welche die Messuhren in der vorgesehenen Position hielten. Der gesamte Aufbau ist in Abbildung 4.4 dargestellt.

Die Befestigung für die horizontale Verschiebung, wurde ebenfalls mit der magnetischen Halteeinrichtung bewerkstelligt. Zuvor musste noch eine Stahlplatte an der CLT-Platte angeschraubt werden, damit die Halteeinrichtung angebracht werden konnte. Der gesamte Aufbau kann der Abbildung 4.5 entnommen werden.

#### 4.2.2 Digitale Wegaufnehmer

Es wurden digitale Seilzug Wegsensor von der Fa. MICRO-EPSILON verwendet [Serie WDS, Baureihe P60, 1000mm]. Die Messuhren besaßen einen maximalen Messweg von  $100\text{ cm}$  und haben eine Messgenauigkeit von  $0,024\text{mm}$ . Die Vorrichtung für die vertikale Verschiebung, wurde ebenfalls mit dem Standfuss ausgeführt. In den Standfuss wurde die



Abbildung 4.4: Messuhren für vertikale Verschiebung



Abbildung 4.5: Messuhren für horizontale Verschiebung

dazugehörige Metallstange eingeführt und mit kleinen Holzkeilen fixiert. Der Wegsensor wurde mit M4 Schrauben, Flügelmuttern und einer Holzplatte an der Metallstange montiert. Um das Seil auf der Messposition zu halten wurde eine Schraube in die CLT-Platte eingeschraubt. Der gesamte Aufbau ist in der Abbildung 4.6 dargestellt.

Für die Messung der horizontalen Verschiebung, wurde eine Vorrichtung zusammengeschweißt. Die Vorrichtung musste nur noch mit Schrauben auf der CLT-Platte angeschraubt werden. Der Wegsensor wurde ebenfalls mit M4 Schrauben, Flügelmuttern und einer Holzplatte, an der Vorrichtung befestigt. Der gesamte Aufbau kann aus der Abbildung 4.5 entnommen werden.

## 4.3 Durchführung des Versuchs

Es wurde ein Versuch an einem Einfeldträger mit 4 Punkt Biegeverfahren durchgeführt. Die Lasteinleitung befand sich im viertel Punkt des Trägers, in der Mitte der Trägerbreite. Der Aufbau des Versuchs bzw. die Abmessungen des Bauteils ist in der Abbildung 4.2 zu entnehmen. Die Belastungsgeschwindigkeit für die Bauteilversuche 1 und 2 wurde mit  $4 \text{ kN/min}$  gewählt. Das Ablesen erfolgte in Schritten von  $2 \text{ kN}$ . Bei den Bauteilver suchen 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.

### Belastungserklärung

- $G_2 \dots$  ist der zusätzlich erforderliche Aufbau (Dämmung, Estrich, Bodenbelag)



Abbildung 4.6: Messaufnehmer  
für vertikale  
Verschiebung



Abbildung 4.7: Messaufnehmer  
für hori-  
zontale  
Verschiebung

- $Q$  ... ist die veränderliche Last lt. EC1 für Wohnräume
- Belastungsgeschwindigkeit:  $1,5 \text{ kN/min}$
- Die Lastangaben beziehen sich auf die Kraft pro Zylinder.

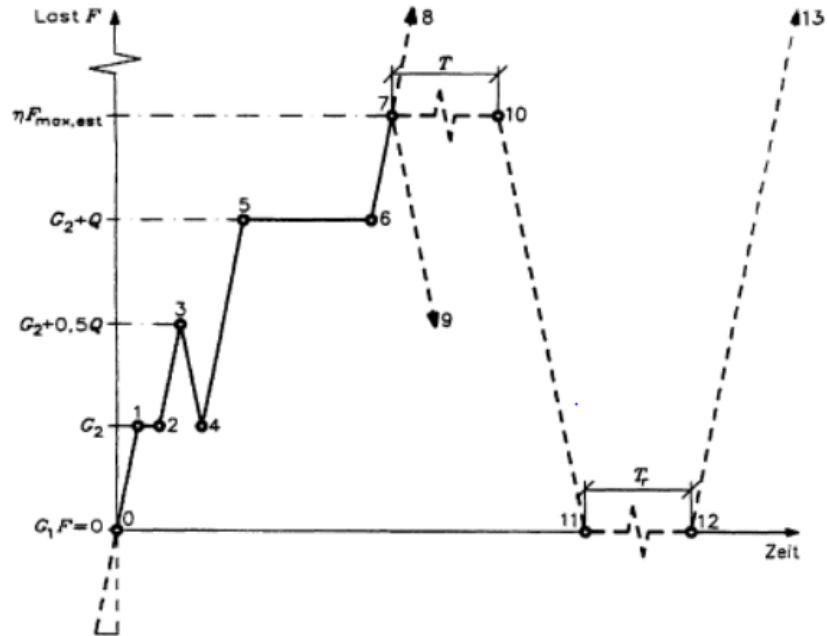


Abbildung 4.8: Schematische Belastungskurve

Tabelle 4.1: 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			