

# Sachbericht Teil II: Eingehende Darstellung

## zum Vorhaben

Thema: **Verbundvorhaben: „Nachhaltige Fassadenelemente aus Holzschaum und Textilbeton“**  
**Akronym: GreenFront**

Zuwendungsempfänger:

**Technische Universität Braunschweig,  
Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs)**

Förderkennzeichen:

**03XP0285F**

Laufzeit:

**01.10.2020 bis 30.09.2023**

Monat der Erstellung:

**03/2024**



# 1. Einleitung

Wärmedämmungen für Gebäude können aus unterschiedlichen Materialien bestehen, wie Mineralwolle, Polymerschäume u.a.. Neben den flexiblen Dämmplatten aus Mineralwolle (Glas und Steinwolle) zählen die druckfesten Polymerschäume aus EPS (expandiertes Polystyrol), XPS (Polystyrol Extrudierschaumstoff) oder PUR (Polyurethan) zu den häufigsten eingesetzten Dämmmaterialien. Fassadenelemente aus Textilbeton und einem Wärmedämmstoff auf petrochemischer Basis sind grundsätzlich auf dem Markt erhältlich oder befinden sich in der Entwicklung. Die Herstellung dieser Elemente erfolgt jedoch immer durch separate Herstellung des Textilbetons und des Wärmedämmstoffes. Beide Materialien werden anschließend durch Kleben zu einem Sandwichelement gefügt. Somit sind immer mehrere Herstellungsschritte oder auch Komponenten unterschiedlicher Hersteller nötig. Auf dem Markt sind in diesem Bereich verschiedene Lösungen zu finden. Klassischerweise werden zwei Betonfertigteile als Tragschale (zusätzlich meist noch eine Vorsatzschale) und ein Wärmedämmstoff (Steinwolle, Polystyrol-Hartschaum) als Dämmlage miteinander verbunden und zu einem Sandwichelement kombiniert. Diese dreischichtigen Elemente haben häufig eine hohe Stärke (>40 cm) und die Betonfertigteile müssen konstruktiv miteinander verbunden werden, um die auftretenden Kräfte aufzunehmen. Im Verbundprojekt „GreenFront“ wurde ein Sandwichelement entwickelt, dessen Kernwerkstoff aus einem neuartigen, ökologisch-nachhaltigen Holzschaum besteht mit äußeren Deckschichten aus Beton. Ziel des Projektes war es, durch die Kombination dieser beiden Materialien ein Sandwichelement zu erhalten, das ähnliche Eigenschaften wie schon eingesetzte Sandwichelemente als Innenausbauplatten oder Gebäudefassadenplatten aufweist und diese zukünftig substituieren kann. Dabei sollte der Holzschaum die üblich eingesetzten Polymerschäume wie PUR- oder XPS-Schäume ersetzen. Um die Herstellung des Sandwichelements kosteneffizient und produktionssicher zu gestalten, bedurfte es einer Weiterentwicklung der Prozessschritte vom bisherigen Labormaßstab in die technische Dimension als Plattenware oder 3D-Fertigteil. Sowohl die Entwicklung einer effizienteren und produktionssicheren Herstellung des Holzschaumes, des Textilbetons als auch eine sinnvoll kombinierte Herstellung beider Materialien für eine großtechnische Anwendung waren daher Ziele des Vorhabens.

Das Projekt GreenFront wurde als Verbundprojekt durchgeführt. Dabei wurden acht Arbeitspakete bearbeitet:

- Arbeitspaket 1: Optimierung der Faserherstellung
- Arbeitspaket 2: Kontinuierliche Aufschäumung und Formgebung
- Arbeitspaket 3: Trocknung
- Arbeitspaket 4: Fertigung Sandwichelement
- Arbeitspaket 5: Eigenschaften Sandwichelement
- Arbeitspaket 6: Recycling
- Arbeitspaket 7: Life-Cycle-Assessment (LCA)
- Arbeitspaket 8: Berichtserstattung

Die Zusammenarbeit der Partner erfolgte nach folgendem Schema:

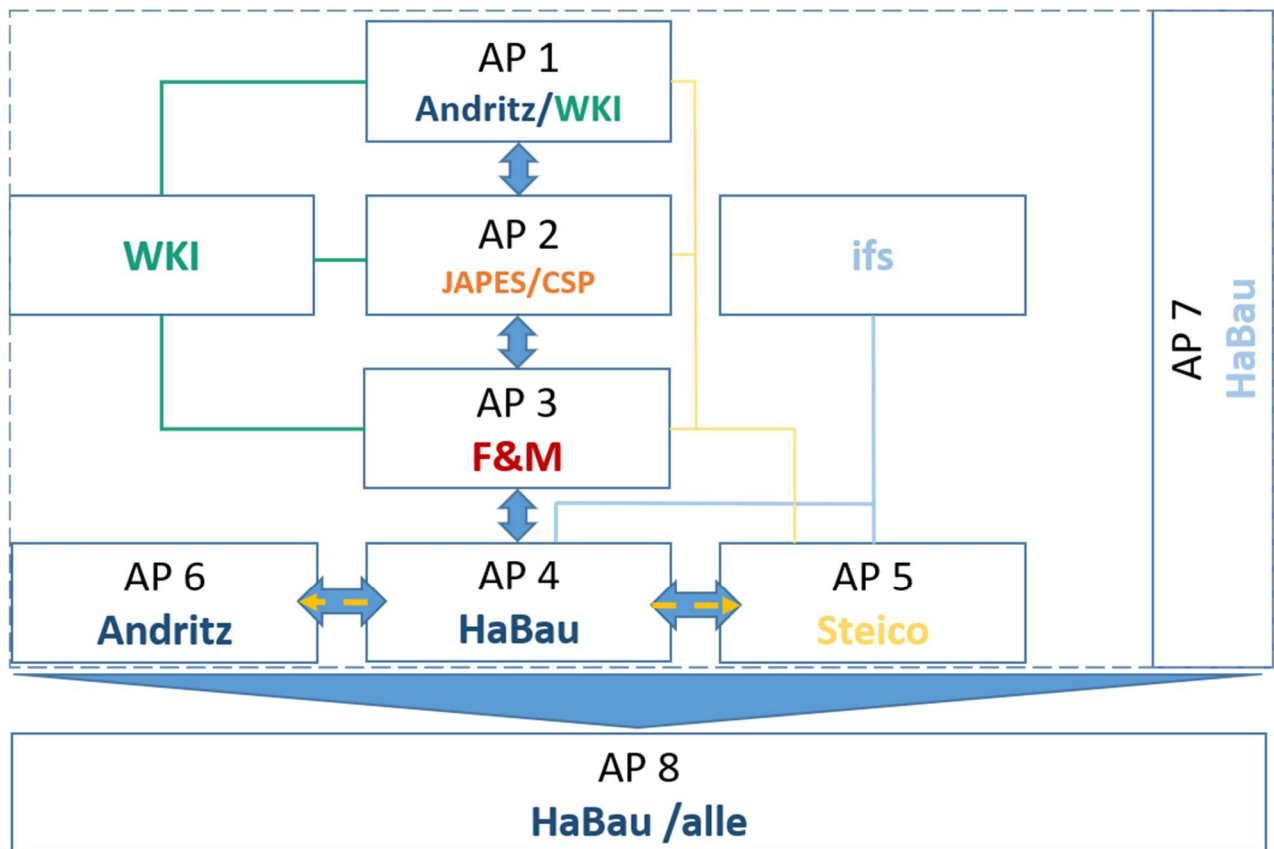


Abbildung 1: Zusammenarbeit der Partner im Projekt GreenFront.

Das Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs) der TU Braunschweig war an den Arbeitspaketen 4, 5, 7 und 8 beteiligt. Nachfolgend sind die Ergebnisse der Arbeiten am ifs in den einzelnen Arbeitspaketen dargestellt.

## 2. Ergebnisdarstellung

### Arbeitspaket 4: Fertigung Sandwichelement

#### AP 4.3: Herstellung und Prüfung auf Couponebene

Am ifs wurden innerhalb des Berichtszeitraums Untersuchungen zur Herstellung eines klebstofflosen Verbundes zwischen Holzschaum und Beton auf Couponebene durchgeführt. Das Verbindungskonzept ist eine Kombination aus einem Formschluss auf Makroebene mittels Schwalbenschwanz-Nuten in der Holzschaumplatte, auf welche der Frischbeton gegossen wird (nass-in-trocken) und ein Formschluss auf Mikroebene durch ein Durchsickern des Zementanteils in die Kavitäten des Holzschaums, wodurch sich eine Art Zwischenschicht vollflächig zwischen den Materialien ausbildet. Beim Gießen des Frischbetons in die Schwalbenschwanz-Nuten bildet sich nach der Aushärtung ein Formschluss mit Hinterschneidungen aus, sodass auch ohne die Ausbildung einer Zwischenschicht die Verbindung entstehen würde. Die hergestellten Holzschäum-Beton-Verbunde wurden mittels Lichtmikroskopie an Querschnitten untersucht und das Fließverhalten des Betons, zur vollständigen Ausfüllung der Schwalbenschwanz-Nuten, mit einer Mikro-Computertomographie validiert. Zur Bewertung der Verbindungsqualität wurden in diesem Arbeitspaket Schub-Druck-Proben hergestellt und anhand ihrer maximal erreichten Last vor dem Versagen verglichen. Variiert wurden dabei die Dichte der verwendeten Holzschäume und die Anzahl bzw. Anordnung der Schwalbenschwanz-Nuten.

Verwendet wurden Holzschäume mit Dichten von 75, 80, 100 und 140 kg/m<sup>3</sup>. Mit zunehmender Dichte der Holzschäume erhöht sich auch deren Festigkeit und die Zerspanbarkeit wird gegenüber Holzschäumen niedrigerer Dichte verbessert. Die bessere Zerspanbarkeit äußert sich durch klare Geometrien durch die Schneidwerkzeuge und verringertem Ausfransen bzw. Materialausrissen an den Schnittflächen des Holzschaums. Der Fertigungsablauf der Schub-Druck-Proben wird in den Abbildung 2 bis Abbildung 4 dargestellt: Die Schwalbenschwanz-Nuten wurden mit einer CNC-Fräsmaschine in die Holzschaumplatte (L x B x H = 300 x 300 x 40 mm<sup>3</sup>) gefräst (Abbildung 2). Die mit Nuten versehene Holzschaumplatte wurde folgend so in die Gussform aus Siebdruckplatten gelegt, dass die Nuten nach oben zeigen. Anschließend wurden Kanthölzer so dazugelegt, dass eine Stufe für die späteren Schub-Druck-Proben erzeugt wird (vgl. Abbildung 3). Im nächsten Schritt wurde der Frischbeton auf den Holzschaum gegossen und mit einer Rüttelplatte verdichtet, sodass eingeschlossene Lufträume entweichen konnten und die Nuten vollständig vom Beton ausgefüllt wurden. Der Beton wurde nun mindestens sieben Tage in der Form ausgehärtet. Nach der Aushärtung des Betons wurde der Verbund zunächst trocken, in Folgeversuchen auch nass, mit einer Steinsäge in sechs Einzelproben getrennt (Abbildung 4). In späteren Versuchen wurde nicht auf die Wasserkühlung der Steinsäge verzichtet, um das Sägeblatt vor zu hohen Temperaturen infolge der auftretenden Reibung zu schützen und die Staubentwicklung zu verringern. Der Kontakt des Holzschaums mit dem Wasser ließ ihn zunächst erweichen, jedoch erlangte der Holzschaum nach der anschließenden Trocknung seine volle Festigkeit zurück.



Abbildung 2: Fräsen der Schwalbenschwanz-Nuten in einer CNC-Fräsmaschine



Abbildung 3: Aushärten des Betons in der Gussform, Ausschalen und entfernen der Kanthölzer



Abbildung 4: Links: Zugeschnittener Holzschaum-Beton-Verbund, rechts: Schubdruckprobe in Prüfmaschine

Um aus dem Holzschaum-Beton-Verbund eine Schub-Druck-Probe herzustellen, wurde auf den Holzschaum ein Brett aus OSB oder Brettschichtholz geklebt. Vor der Prüfung wurde der Verbund optisch bewertet und anschließend mittels Lichtmikroskopie und Mikro-Computertomographie (Mikro-CT) untersucht, um den Betonfluss hinsichtlich Lunker und gleichmäßiger Formausfüllung zu bewerten. In Abbildung 5 sind Aufnahmen eines Querschnitts durch die Verbindungsebene im Detail gezeigt. Die Betrachtung des Querschnitts legt nahe, dass der Beton die Nuten vollständig ausgefüllt und die Schwalbenschwanz-Geometrie einen Hinterschnitt ausgebildet hat. In der Vergrößerung von

Ausschnitt A lässt sich auf der linken Flanke des Schwalbenschwanzes ein dünner Übergangsbereich zwischen Beton und Holzschaum erkennen, in welchem der Zement in die vliesartigen Kavitäten des Holzschaums eingedrungen ist. Zur besseren Bewertung des Übergangsbereichs wurde an einer weiteren Verbundprobe eine Lichtbildmikroskopie durchgeführt (Abbildung 6). In der Detailaufnahme ist deutlich erkennbar, dass sich eine ein bis zwei Millimeter dicke Zwischenschicht gebildet hat, in welcher der Zementanteil des Betons (keine Körnung) in die feinen Kavitäten des Holzschaums geflossen ist. Nach dem Aushärten geht der Zement dort eine Verbindung mit den Holzfasern des Holzschaums ein und umschließt diese. Es ist davon auszugehen, dass die Verbindung sowohl durch spezifische als auch durch mechanische Adhäsion erfolgt. Zum Festigkeitsnachweis dieses Formschlusses werden vergleichend Schub-Druck-Proben ohne Schwalbenschwanz-Nuten hergestellt und geprüft.

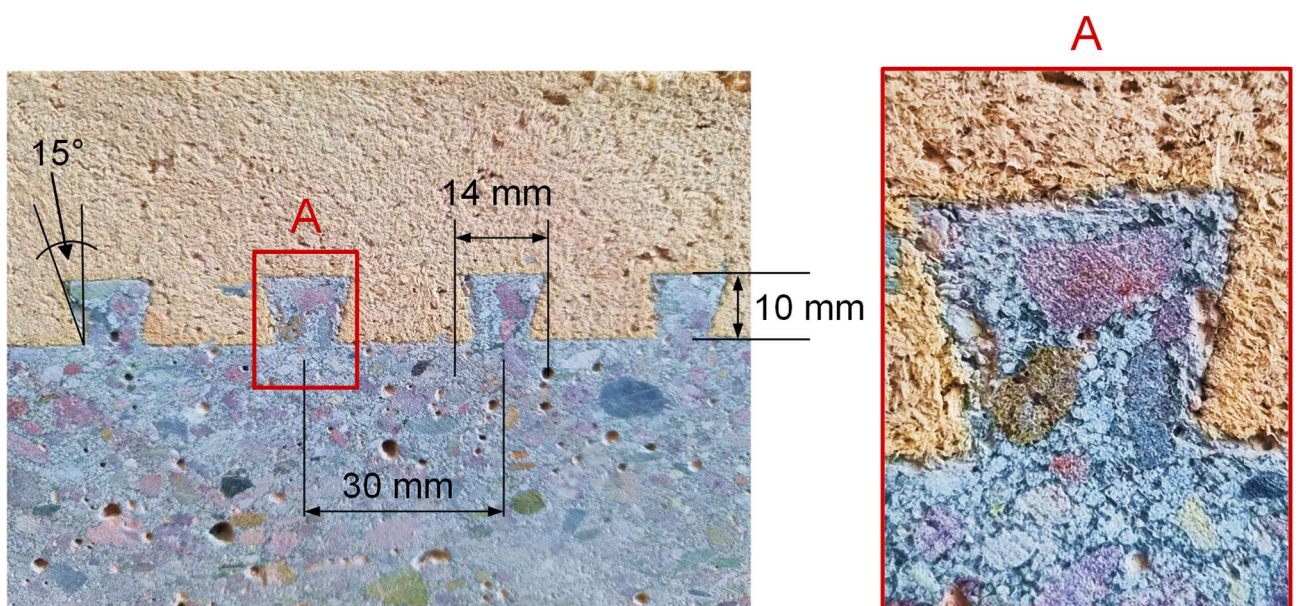


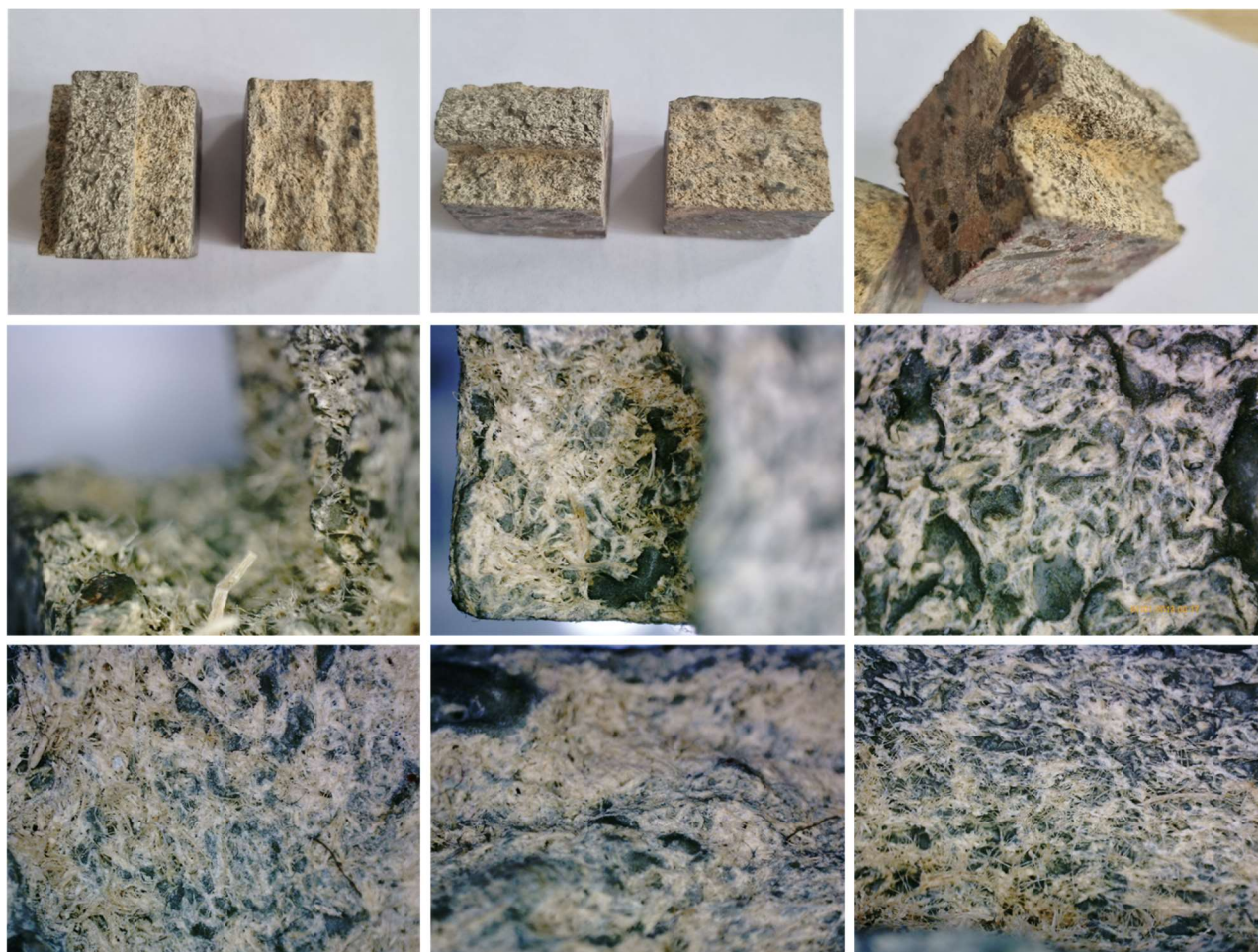
Abbildung 5: Detaildarstellung der entstandenen Verzahnung zwischen Holzschaum und Beton durch die Schwalbenschwanz-Nuten (Makrokamera)



Abbildung 6: Formschluss auf Mikroebene: Detailaufnahme der Holzschaum-Beton-Grenzschicht (Lichtmikroskop)

Zum besseren Verständnis der oben gezeigten Zwischenschicht wurde mittels Wasser und einen mechanischen Abtrag des Holzschaums via Kunststoffbürste der Beton freigelegt und mit einem Lichtmikroskop betrachtet. Eine Auswahl der daraus entstandenen Bilder sind in Abbildung 7 zu

sehen. Besonders in den Bildern der unteren Reihen kann man erkennen, dass sich eine Art Vlies aus Holzschaumfasern auf der obersten Betonlage gebildet hat. Diese Vliesschicht widerstand auch dem mechanischen Abtrag mit der Kunststoffbürste.



*Abbildung 7: Detailaufnahmen (Lichtmikroskop) von Verbundproben, die mit der Zuhilfenahme von Wasser und einer Kunststoffbürste vom Holzschaum befreit wurden. Durch die Vergrößerung wird sichtbar, dass sich eine Art Vlies aus Holzschaum auf der obersten Betonlage gebildet hat, welche fest mit diesem verbunden ist und der mechanischen Einwirkung der Kunststoffbürste widerstand.*

Um das Fließverhalten des Frischbetons zu überprüfen, wurden zusätzlich zu den Beobachtungen der entstandenen Schnittkanten CT-Scans an ausgewählten Proben durchgeführt. In Abbildung 8 ist ein CT-Scan einer Verbundprobe zu sehen. Innerhalb eines CT-Scans werden die Kontraste durch unterschiedliche Dichten der durchstrahlten Probe erzeugt. Durch die wesentlich höhere Dichte des Betons gegenüber der des Holzschams kann in dieser Darstellung der Holzschaum nahezu ausgeblendet werden, sodass nur die Betonstruktur betrachtet werden kann. Der CT-Scan zeigt, dass der Beton die Nuten vollständig ausfüllen konnte. Zusätzlich ist zu erkennen, dass der Beton in die fertigungsbedingten Hohlräume des Holzschams eingedrungen ist und stellenweise über die Nut hinaus tiefer in den Holzschaum eindrang, was sich positiv auf die Verbundfestigkeit auswirkt. In Abbildung 8 werden ausgehend von diesem CT-Scan zwei orthogonale Ebenen durch eine Nut gezeigt.

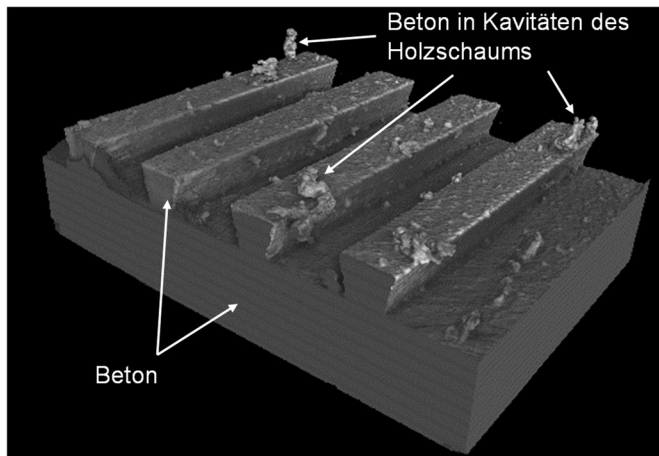


Abbildung 8: CT-Scan der Holzschaum-Beton-Verbundprobe als Übersicht

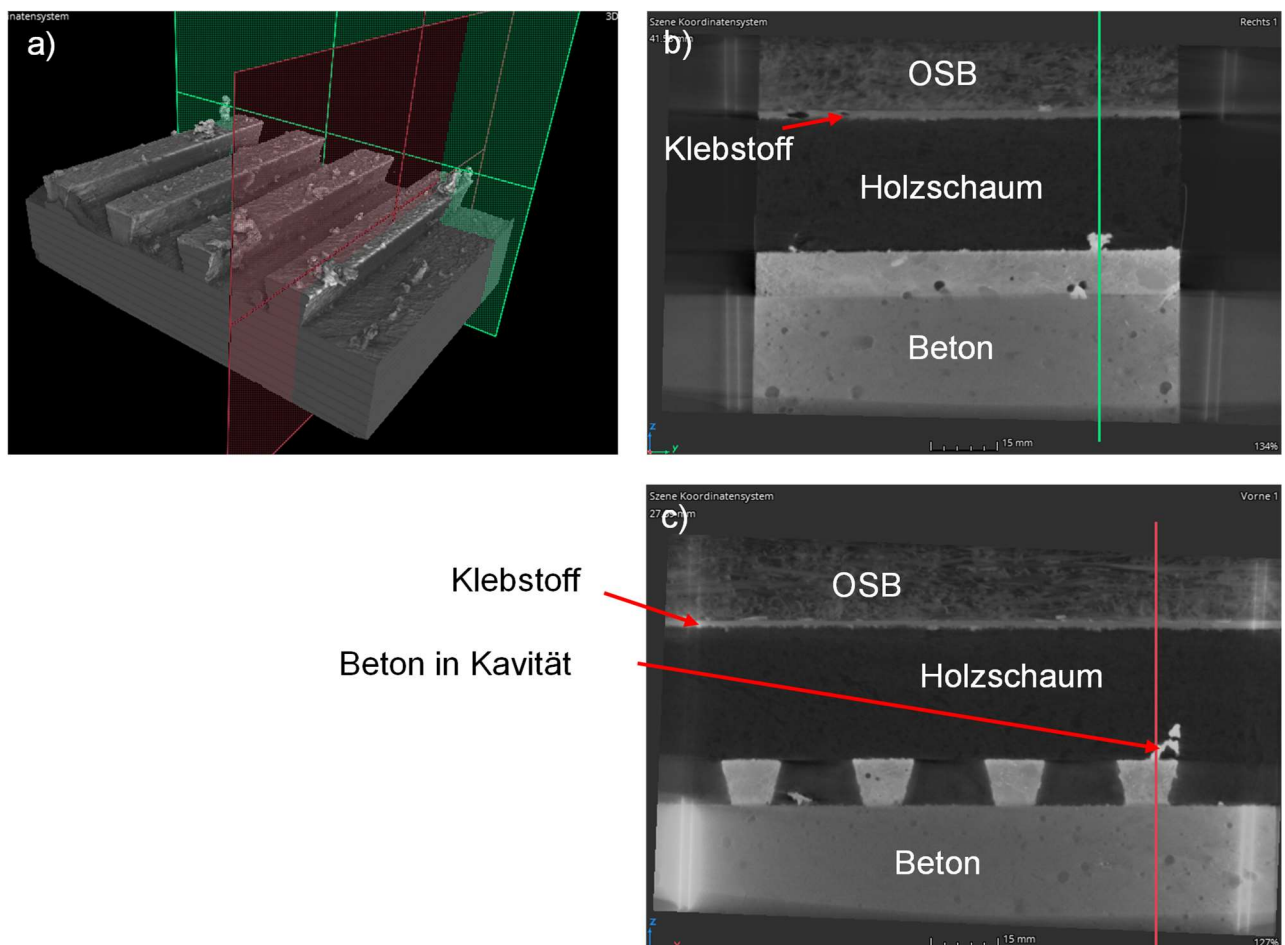


Abbildung 9: CT-Scan der Holzschaum-Beton-Verbundprobe mit Ansichten durch Schnittebenen: a) Übersicht, b) Ansicht der roten Ebene, c) Ansicht der grünen Ebene

Um aus dem Holzschaum-Beton-Verbund eine Schub-Druck-Probe für die Prüfung herzustellen, wurde auf den Holzschaum eine OSB-Platte geklebt (Abbildung 10). Die dadurch entstandene Prüfgeometrie ist mit den Kraftangriffspunkten während der Prüfung ebenfalls in Abbildung 10 dargestellt. Um die Kraft besser durch den Holzschaum in die Verbindungsebene zu leiten, wurde zwischen Holzschaum und OSB-Platte ein zusätzlicher Streifen aus OSB mittels Holzschrauben fixiert, wie er in Abbildung 11 zu sehen ist.



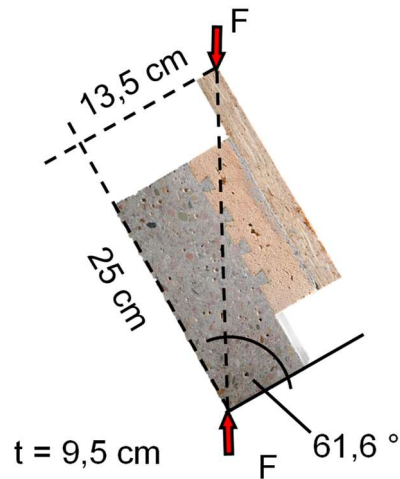


Abbildung 10: Vollständiger Schub-Druck-Probekörper mit geklebter OSB-Platte auf dem Holzschaum und der resultierenden Prüfgeometrie

Die Schub-Druck-Prüfung ist in Abbildung 11 exemplarisch dargestellt. Auf dem linken Bild ist die Probe zwischen zwei Prismen in der Prüfmaschine eingesetzt. Die Prismen sind auf dem Bild bereits so weit zusammengefahren, dass das Schubversagen im Holzschaum deutlich durch Risse erkennbar ist. Auf dem mittleren Bild sind die entstandenen Bruchflächen zu sehen. Bei allen Proben trat das Versagen im Holzschaum auf. Das rechte Bild zeigt die Probe nach der Prüfung: Durch den Formschluss mit den Schwalbenschwanz-Nuten verlief der Riss oberhalb des Betons im Holzschaum.

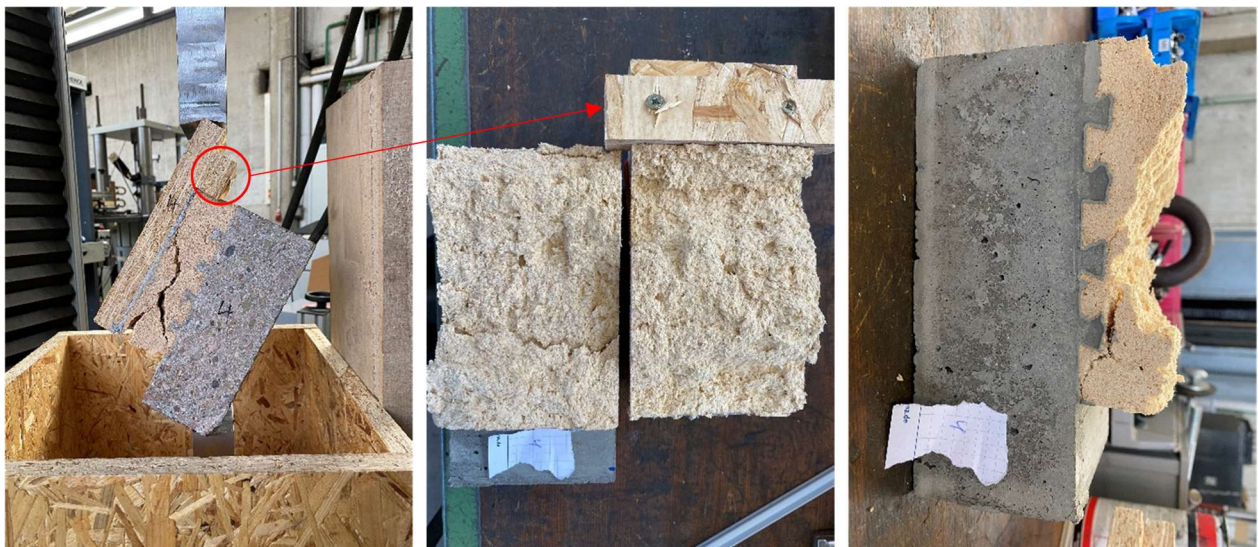


Abbildung 11: Prüfung einer Schub-Druck-Probe mit zusätzlichem OSB-Streifen zur verbesserten Schubeinleitung (rot markiert) bis zum Versagen im Holzschaum

Die gemessenen Kraft-Weg-Verläufe sind in Abbildung 12 dargestellt. Als Vergleichswert wird hier die maximal gemessene (Schub-)Kraft verwendet, weil nach dieser der Riss entsteht und der Verbund versagt, was sich durch einen raschen Kraftabfall im gemessenen Verlauf abzeichnet. So beträgt die gemittelte Schubkraft vor dem Verbundversagen  $2465 \pm 238$  N. Normiert auf die Grundfläche des Verbunds, ohne Prüfwinkelkorrektur der Lasteinleitung, ergibt sich daraus eine Schubfestigkeit von  $0,130 \pm 0,013$  MPa. Anzumerken ist dabei, dass bei manchen Proben eine Art Hebel mit Hebelpunkt am angeschraubten OSB-Streifen entstand und aus der Schubbelastung



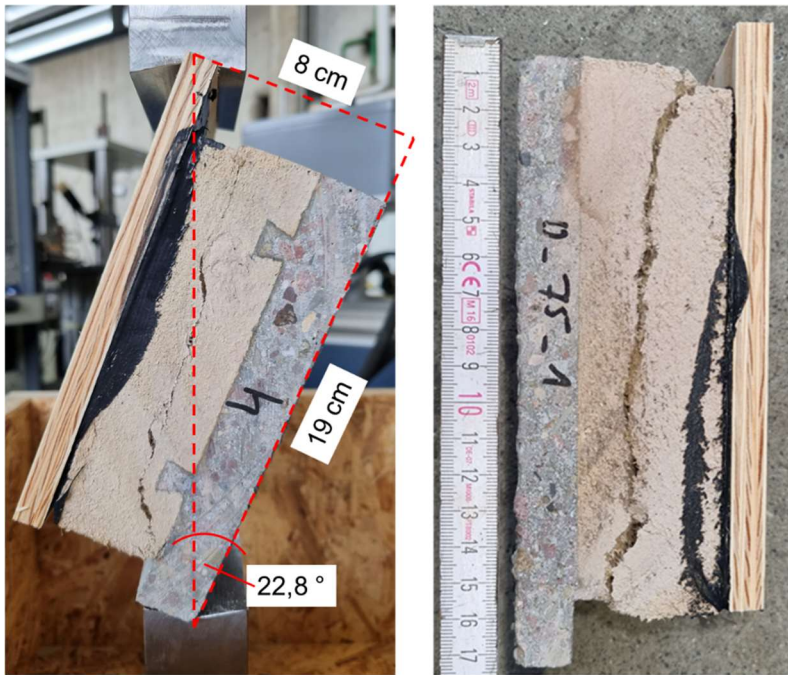


Abbildung 13: Geprüfte Schub-Druck-Proben mit Schubversagen im Holzschaum: Links mit zwei Nuten und einer Holzschaumdichte von  $100 \text{ kg/m}^3$ , rechts ohne Nuten und einer Holzschaumdichte von  $75 \text{ kg/m}^3$

In Abbildung 14 sind die Ergebnisse der Schubprüfung dieses Arbeitspakets zusammengefasst, aufgetragen als maximal erreichte Schubkraft über die Holzschaumdichte der Proben. Da bei allen geprüften Proben der Holzschaum-Beton-Verbund intakt blieb und somit bei allen Holzschaumdichten ein Schubversagen im Holzschaumwerkstoff erzielt wurde, bildet der Graph primär die Schubfestigkeit des Holzschaums über die Holzschaumdichte ab. Aus fūgetechnischer Betrachtungsweise ist dies ein gutes Ergebnis, weil der Verbund sehr zuverlāssig ohne die Verwendung von Klebstoffen hergestellt werden konnte. Es wird daher auch in Arbeitspaket 5 (Eigenschaften Sandwichelement) auf das Nass-in-trocken-Verfahren zurūckgegriffen.

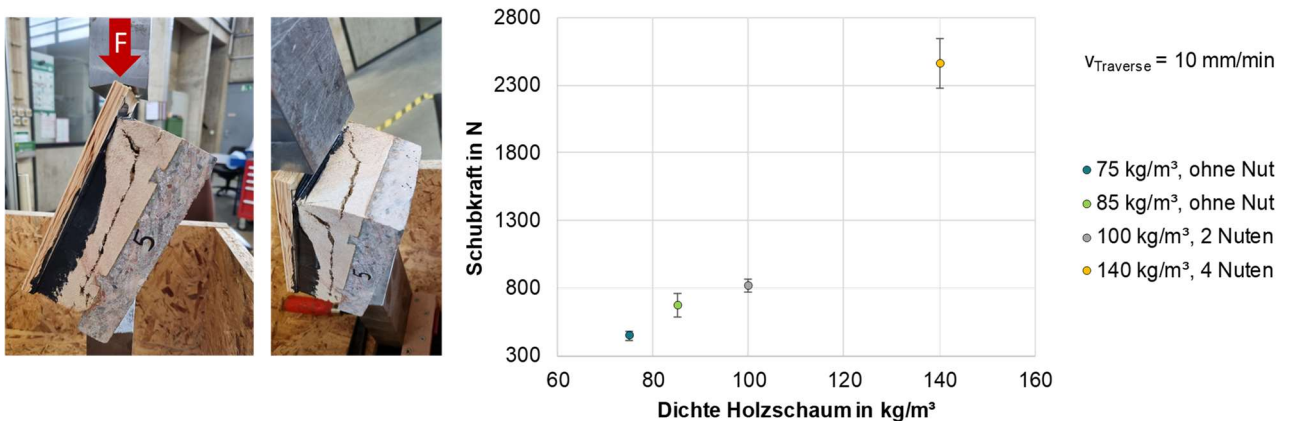


Abbildung 14: Zusammenfassung der Schub-Druck-Versuche mit Variation der Nutenanzahl, dargestellt als erzielte Schubkraft über die Holzschaumdichte

## **Arbeitspaket 5: Eigenschaften Sandwichelement**

### AP 5.1: Quasistatische Prüfungen

In diesem Arbeitspaket wurde die Tragwirkung des Sandwichelements mit Schubprüfungen an repräsentativen Teilquerschnitten untersucht und das Versagensverhalten bewertet. Zum Vergleich mit kommerziell erhältlichen Sandwichelementen mit Dämmstoffen aus petrochemischen Materialien wurden auch Schubproben mit Styrodur® geprüft, einem besonders druckfesten, extrudierten Polystyrol. Da die Fassadenelemente in ihrer Anwendung an ihren Betondecklagen hängend an Außenwänden montiert werden sollen, ergibt sich als Hauptlast eine schwerkraftbedingte Zugkraft an der äußeren Deckplatte, sodass sich am Gesamtverbund und im Holzschaum primär eine Scher- bzw. Schubbelastung ergibt. Mögliche Zugbelastungen durch Windsog werden in diesem Projekt nicht betrachtet. Auch eine Biegebeanspruchung würde bei flexiblen Deckenplatten eine Schubbelastung im Holzschaum erzeugen, wie es auch beim Vorgängerprojekt „HoTeSa“ (2018, Projektbericht Zukunft Bau AZ 10.08.18.07-16.40: HoTeSa – Nachhaltige Sandwichelemente aus Holzschaum und Textilbeton) zuverlässig nachgewiesen wurde. Da nach Fertigstellung des Projekts GreenFront Sandwichelemente mit Kantenabmessungen von bis zu zwei Metern geplant sind, wurde die Dicke der Deckenplatten auf marktübliche 30 mm erhöht. Dies ist aus Stabilitätsgründen erfolgt und ermöglicht zudem Verankerungssysteme mit Ösen für Kranhaken, um die großflächigen Elemente auf höheren Gebäudeetagen sicher anzubringen. Da Biegeprüfungen von schmalen Balkenproben mit den biegesteifen Betondeckplatten keinen Erkenntnisgewinn für die oben genannte Anwendung liefern und die Schubprüfung zudem eine höhere Belastung für den Holzschaum-Beton-Verbund bedeutet, wurde nach Absprache mit den Projektpartnern auf eine Biegeprüfung verzichtet.

Der Aufbau der Balkenproben ist in Abbildung 15 als technische Zeichnung gezeigt. Sie haben eine Kantenlänge von  $L \times B \times H = 600 \times 150 \times 150 \text{ mm}^3$  und besitzen zwei Deckenplatten aus Beton, die jeweils über fünf Schwalbenschwanz-Nuten mit dem Dämmstoffkern verbunden sind. Die Gussrichtung des Betons ist in der Zeichnung markiert und erfolgte so, dass beide Betonplatten gleichzeitig aushärten konnten. In Versuchen auf Couponebene wurde bereits in AP 4.3 gezeigt, dass der Holzschaum auch ohne Schwalbenschwanz-Nuten eine vollflächige Verbindung mit dem Holzschaum herstellt. Da das Styrodur®-Material einen grundlegend anderen Aufbau der Oberfläche besitzt als der Holzschaum ist davon auszugehen, dass ohne makroskopische Hinterschnitte wie z. B. Schwalbenschwanz-Nuten keine hinreichend feste Verbindung entstehen kann. Aus diesem Grund wurde zur Vergleichbarkeit der verschiedenen Materialien auf Schwalbenschwanz-Nuten zurückgegriffen. Das WKI stellte HaBau den Holzschaum zur Verfügung, HaBau fertigte nach Vorlage der Zeichnung die Proben und lieferte sie an das ifs. Der verwendete Holzschaum hat eine Dichte von  $150 \text{ kg/m}^3$ .

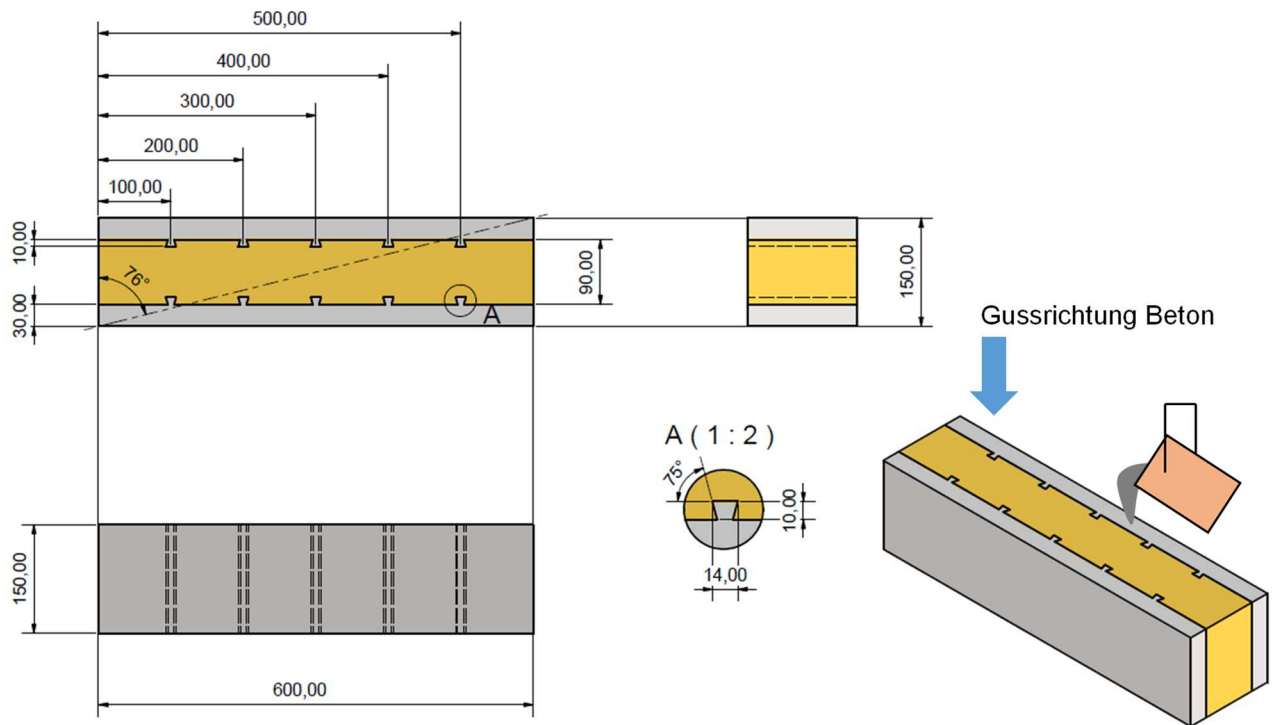


Abbildung 15: Technische Zeichnung zur Herstellung der Balkenproben, Maße in Millimetern

Die Prüfung der Balkenproben erfolgte in einem sehr ähnlichen Aufbau wie in AP 4.3 und ist in Abbildung 16 gezeigt. Die Balkenproben wurden mit den gegenüberliegenden Kanten via Rundstablager in Prismen drehbar gelagert. Das obere Prisma fährt mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/min nach unten und erwirkt so eine Relativbewegung der Deckplatten, wie es durch die blauen Pfeile in (a) gezeigt wird. Gemessen werden dabei Weg und Kraft. In Teil (b) der Abbildung sieht man ein typisches Versagensbild der Holzschaumproben. Es bilden sich allmählich mehrere gleichmäßige Risse im Holzschaum mit Ausrichtung entlang des Kraftflusses zwischen den Lagern. An keiner Stelle der Proben hat sich die Verbindung zwischen dem Holzschaum und dem Beton gelöst, sodass ausschließlich Schubversagen im Holzwerkstoff vorliegt. Die Verbindung Holzschaum-Beton wurde also auch im Anwendungsmaßstab nachgewiesen. Teil (c) zeigt das typische Versagensbild von den Proben mit Styrodur®: Es bilden sich Risse an den Flanken der Schwalbenschwanz-Nuten, die anders als beim Holzschaum deutlich hörbar und schlagartig nacheinander entstehen. Die roten Pfeile markieren die Position der Risse, die auch deutlich kürzer sind als die im Holzschaum.

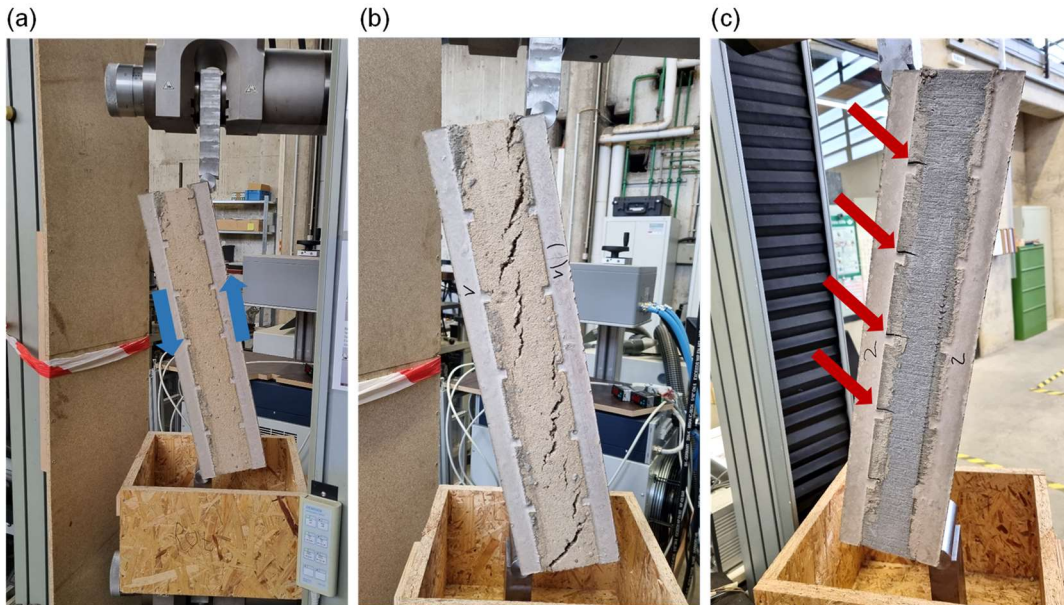


Abbildung 16: Prüfung der Balkenproben: (a) Balkenprobe mit Holzschaum eingebaut in Prüfvorrichtung, (b) Balkenprobe mit Holzschaum nach Prüfung mit deutlich sichtbaren Rissen im Holzschaum (Schubversagen), (c) Balkenprobe mit Styrodur® nach Prüfung (rote Pfeile zeigen auf Risse am Styrodur® an den Schwalbenschwanz-Nuten).

Die Ergebnisauswertung der Prüfung ist in Abbildung 17 zu sehen. Auf der linken Seite sind die Kraft-Weg-Verläufe der Einzelproben aufgetragen. Die Holzschaumproben ertrugen Lasten zwischen 7 kN und 11 kN und haben einen gleichmäßigen Kraftanstieg bis zum Auftreten erster Risse. Nach dem Erreichen der Maximallast sinkt die Kraft ebenso gleichmäßig. Die Proben mit Styrodur® nahmen dagegen Kräfte zwischen 9 kN und 16 kN auf und unterscheiden sich untereinander sowohl im Kraftanstieg als auch im Kraftverlauf nach Erreichen der Maximallast. Bei den meisten Proben fällt die Kraft stufenartig nach der Maximalkraft, was auf die sequentielle Rissbildung an den Schwalbenschwanz-Nuten zurückzuführen ist. Auf der rechten Seite der Abbildung sind die maximalen mittleren Schubspannungen dargestellt (Kraft auf Schubfläche normiert, keine Prüfwinkelkorrektur). Die Holzschaumproben erreichen im Mittel  $0,10 \pm 0,01$  MPa, die mit Styrodur® dagegen  $0,13 \pm 0,03$  MPa. Die Balkenproben aus Holzschaum besitzen also im Mittel 76 % der Tragfähigkeit der Balkenproben aus Styrodur®. Dieses Verhältnis wird vor allem durch eine Probe mit besonders hoher Traglast (16 kN) der Styrodur®-Proben beeinflusst. Zusätzlich dazu relativiert sich die höhere Traglast in der wirtschaftlichen Betrachtungsweise, da der Holzschaum die Verbindung auch ohne Schwalbenschwanz-Nuten bzw. Fräsprozesse herstellt und durch den Wegfall dieser Arbeitsschritte deutlich Kosten und Energieaufwände eingespart werden können. Insgesamt liefert die Prüfung der Balkenproben zufriedenstellende Ergebnisse im Anwendungsmaßstab, da sich auch hier das Versagensbild auf das Schubversagen im Holzschaum beschränkt und die Verbindung mit dem Holzschaukern gewährleistet ist. Eine exemplarische Darstellung der Balkenproben vor und nach der Prüfung sind zusätzlich in Abbildung 18 und Abbildung 19 zu sehen.

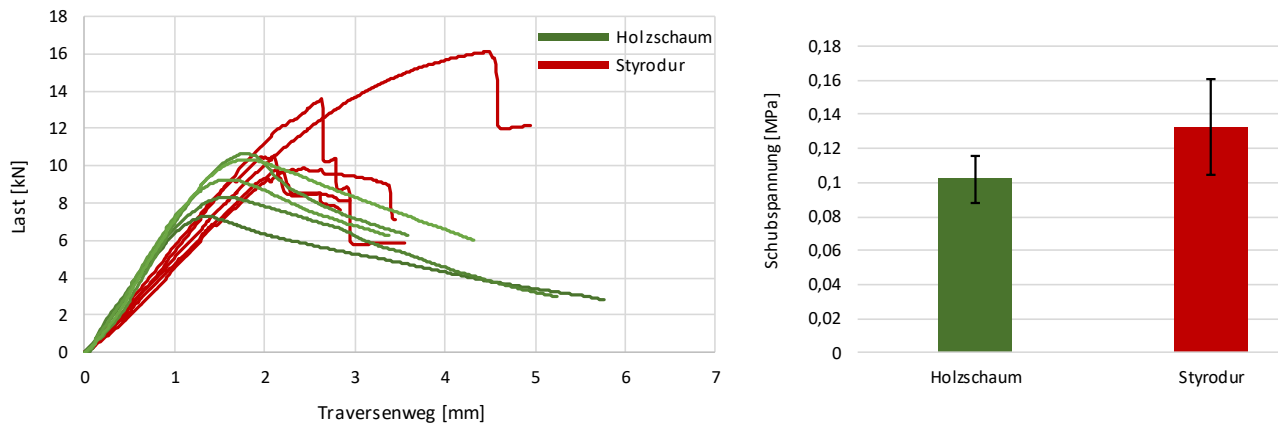


Abbildung 17: Ergebnisauswertung Prüfung Balkenproben – links: Darstellung als Kraft-Weg-Verlauf, rechts: Gegenüberstellung mit mittlerer Schubspannung.



Abbildung 18: Typisches Bruchbild der Balkenproben mit Holzschaum anhand einer exemplarischen Probe. Oben vor Prüfung, unten nach Prüfung.



Abbildung 19: Typisches Bruchbild der Balkenproben mit Styrodur® anhand einer exemplarischen Probe. Oben vor Prüfung, unten nach Prüfung. Die blauen Pfeile deuten auf Risse an den Flanken der Schwalbenschwanz-Nuten.

## AP 5.2: Alterungsverhalten

In diesem Arbeitspaket wurde das Alterungsverhalten des Sandwichaufbaus an Kleinteilproben unter klimatischen Randbedingungen im Außenbereich untersucht. Ausgehend von den positiven Ergebnissen aus AP 4.3 wurde sich innerhalb eines Projekttreffens auf eine Probengeometrie zur Untersuchung des Alterungsverhaltens geeinigt. Dieses ist in Abbildung 20 dargestellt. Die Basis bildet ein Holzschaumquader mit einer Kantenlänge von 40 mm. Der 40 mm dicke Holzschaum wird einseitig mit einer Schwalbenschwanz-Nut versehen, auf welche anschließend der Frischbeton gegossen wird, sodass nach der Aushärtung ein Formschluss entsteht. Knapp unterhalb der Verbindungsebene, zwischen Holzschaum und Beton, sollte die Probe ursprünglich rundum wasserdicht versiegelt werden, jedoch wurde sich im weiteren Projektverlauf gegen diese Versiegelung entschieden, um innerhalb der Klimawechseltests eine größere Beanspruchung des Verbunds durch die größere Exposition zum eingestellten Klima zu erwirken.

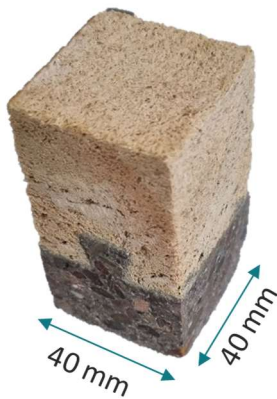


Abbildung 20: Probe für Klimawechseltest (kurz: Klimaprobe)

Der Einfluss des Klimawechsels auf die Verbundfestigkeit wurde durch Kopfzugprüfungen charakterisiert. Eine Probenreihe wird zur Bestimmung der Kurzzeitfestigkeit nicht dem Klimawechseltest ausgesetzt und liefert eine Referenz, mit welcher die Restverbundfestigkeit nach dem Durchlaufen der Klimawechseltests verglichen wird. Um eine Belastung nah der Grenzschicht zwischen Beton und Holzschaum während der Prüfung zu erzielen, wird der Holzschaum wenige Millimeter oberhalb Nut abgetrennt. Auf die neu entstandene Schnittfläche wird anschließend mit einem 2K-Epoxidharz-Klebstoff (Sikadur®-33) ein Holzwürfel (Buche) geklebt, welcher in der Zugprüfung in die obere Spannbacke der Prüfmaschine eingespannt wird (Abbildung 21).



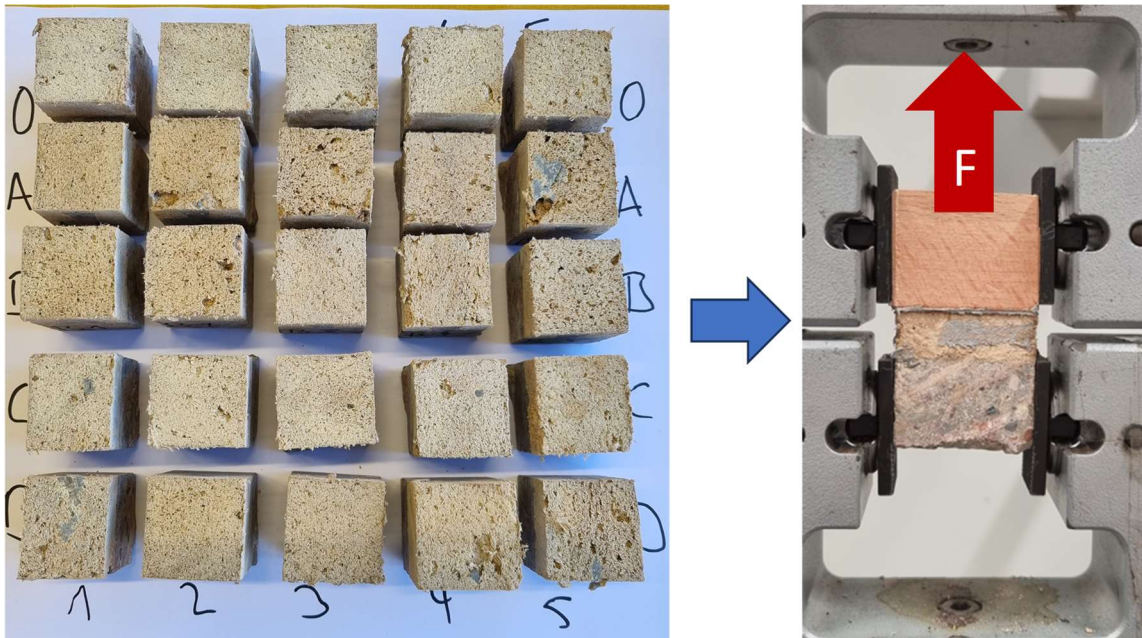


Abbildung 21: Links: Klimaproben mit sichtbarer Klebfläche (nach Abtrennen des Holzschaums): Teilweise ist Beton in den Kavitäten des Holzschaums freigelegt (deutlich bei Probe A5 zu sehen). Rechts: Klimaprobe mit geklebten Holzwürfel, eingespannt in Zugprüfmaschine.

Der Klimawechseltest setzt sich aus den zwei alternierenden Programmen A und B zusammen. Programm A durchläuft 28 Zyklen, welche sich aus Aufheiz- (2h), Halte- (4h) und Abkühlphasen (2h) zwischen  $-20\text{ °C}$  und  $+50\text{ °C}$  (80 % rel. Luftfeuchte bei  $50\text{ °C}$ ) zusammensetzen. In Programm B wurden mit denselben Aufheiz-, Halte- und Abkühlraten 14 Zyklen zwischen  $-20\text{ °C}$  und  $+80\text{ °C}$  (80 % rel. Luftfeuchte bei  $80\text{ °C}$ ) durchlaufen. Es wurden insgesamt vier Probenreihen erstellt, welche sich durch die durchlaufenen Programme unterscheiden und danach benannt sind. Reihe A durchlief Programm A, Reihe A+B durchlief Programm A und anschließend Programm B, Reihe A+B+A durchlief Programm A, Programm B und abschließend Programm A, Probenreihe A+B+A+B analog. Regelmäßige Sichtkontrollen während der Klimawechseltests konnten keine nennenswerten optischen Veränderungen an den Probenkörper feststellen.

Die Ergebnisse der Zugprüfung sind in Abbildung 22 zu sehen. Die Proben wurden vor der Prüfung 14 Tage bei Raumtemperatur ( $23\text{ °C}$ , 40 % rel. Luftfeuchte) konditioniert. Falls bei einer Probe durch die Kavitäten im Holzschaum stellenweise auf Beton geklebt wurde, gilt die Klebung als fehlerhaft und wird von der Berechnung ausgeschlossen, da hier viel größere Zugspannungen erreicht wurden als bei Klebungen auf dem Holzschaum. Die Referenzproben, welche keine klimatischen Belastungen erfahren haben, erreichten im Mittel Zugspannungen (normiert auf Querschnittsfläche) von  $0,038 \pm 0,016\text{ MPa}$ . Diese vergleichsweise niedrigen Werte sind damit begründet, dass hier ein Dämmstoff geprüft wird. Die verhältnismäßig hohe Standardabweichung kommt durch Defekte wie Hohlräume im Schaum zustande, die besonders bei den kleinen Querschnitten der Prüflinge einen großen Einfluss haben. Mit fortschreitender Klimabelastung scheint die mittlere Zugspannung beim Versagensfall etwas abzufallen, nimmt jedoch bei der Probenreihe mit der größten Klimawechselbelastung wieder zu. Mit Hinblick auf die Standardabweichungen lassen sich zudem keine nennenswerten Unterschiede zur Referenzserie bilden, sodass die Festigkeit keine

wesentlichen Einbußen durch die Klimawechselbelastungen erfahren hat. Trotz dieser Ergebnisse muss in der Anwendung als Fassadenelement darauf geachtet werden, dass der Holzschaum vor Witterung geschützt ist, sodass er sich nicht mit Wasser vollsaugen kann. Beim Sägen der Proben mit Kühlwasser wurde zudem festgestellt, dass der Holzschaum erweicht bei Kontakt mit Wasser, jedoch nach der Trocknung wieder seine Ausgangsfestigkeit erreicht.

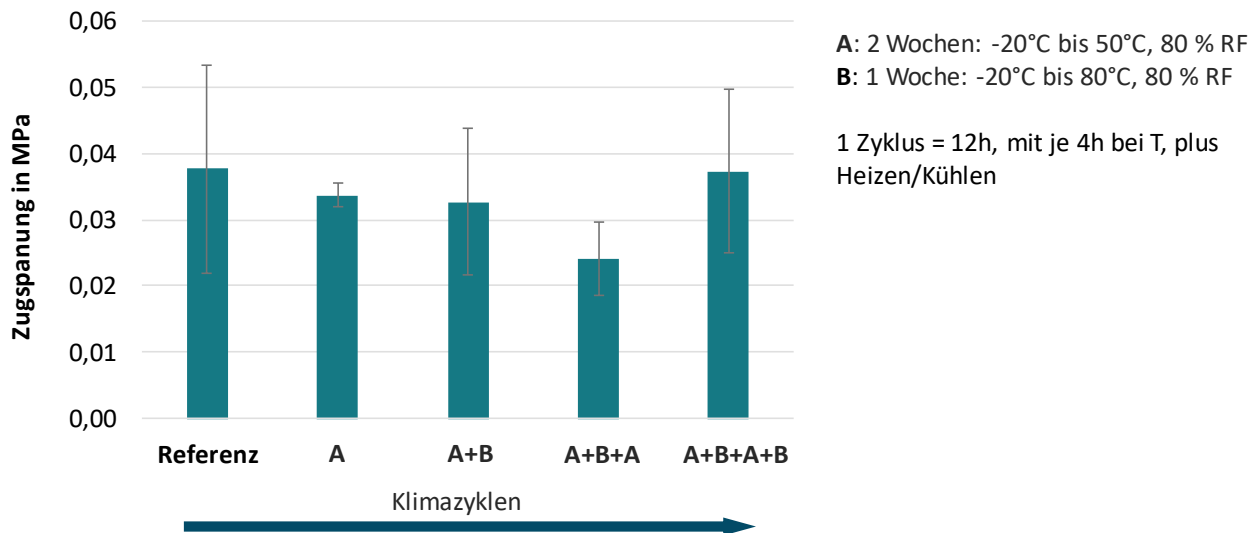


Abbildung 22: Ergebnisse der Kopfzugprüfung der Keimproben: Klimaproben ohne Klimawechselbelastung als Referenz gekennzeichnet.

Durch den erfolgreichen klebstofflosen Fügeprozess von Holzschaum und Beton sind Untersuchungen via DSC, DMA oder Thermogravimetrie hinfällig geworden, da in dem Sandwichelement in dieser Form keine Materialien vorkommen, die man sinnvoll für den Erkenntnisgewinn mit den o. g. Analyseverfahren untersuchen muss.

## **Arbeitspaket 7: Life-Cycle-Assessment (LCA)**

In diesem Arbeitspaket wird der Stand des Wissens bzgl. LCA und EPD zu Beton zusammengefasst. Anschließend erfolgt eine LCA-Betrachtung zum Holzschaum.

Life Cycle Assessment (LCA) und Environmental Product Declarations (EPD) sind wichtige Instrumente zur Bewertung der Umweltauswirkungen von Baustoffen wie Beton. In den letzten Jahren wurden einige Studien und Veröffentlichungen zu diesem Thema veröffentlicht, die den aktuellen Stand des Wissens widerspiegeln.

Beton ist eines der häufigsten verwendeten Baumaterialien weltweit und spielt eine Schlüsselrolle in der Bauindustrie. Laut einer Studie von Andrew, R. M. et al. (2018) macht die Betonproduktion etwa 8% der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus. Die Herstellung von Zement, dem Hauptbestandteil von Beton, ist für den Großteil dieser Emissionen verantwortlich. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Zementproduktion werden auf etwa 0,8 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne produzierten Zements geschätzt (Andrew, R. M. et al. (2018)). Zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen verbraucht die Betonproduktion große Mengen an Energie und natürlichen Ressourcen, was zu weiteren Umweltauswirkungen führt.

Die Durchführung einer LCA für Beton erfordert die Zusammenstellung umfangreicher Daten über den gesamten Lebenszyklus des Materials. Primäre Daten werden oft direkt von Betonherstellern, Zementproduzenten und Rohstofflieferanten bezogen. Sekundäre Datenquellen können aus wissenschaftlichen Studien, Branchenberichten und Datenbanken stammen. Unsicherheiten in den Daten müssen berücksichtigt werden, um zuverlässige Ergebnisse zu gewährleisten (Guinée et al., 2011). Die Umweltauswirkungen von Beton sind vielfältig und umfassen Treibhausgasemissionen, Energieverbrauch, Luftverschmutzung, Ressourcenverbrauch und Umweltverschmutzung. Eine Studie von Lea et al. (2006) ergab, dass die Betonproduktion etwa 1,25 bis 2,25 GJ Energie pro Tonne Beton verbraucht, abhängig von den verwendeten Materialien und Prozessen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Beton werden hauptsächlich durch die Zementproduktion verursacht, wobei der Zementherstellungsprozess für etwa 60-65% der Gesamtemissionen verantwortlich ist (Andrew, R. M. et al. (2018)).

Im Folgenden wird auf eine Veröffentlichung (InformationsZentrum Beton GmbH (2023)) vom Institut für Bauen und Umwelt e.V. (IBU) in Form einer EPD (nach EN 15804+A2) für Betone der Druckfestigkeitsklassen C35/45 näher eingegangen. Sie bezieht sich auf durchschnittliche Zusammensetzungen dieser Druckfestigkeitsklassen in Deutschland zur Verwendung für Bauteile des üblichen Hochbaus, Tief- und Ingenieurbaus als Transportbeton oder Beton in Fertigteilen. Die verwendeten Daten wurden von den Mitgliedern des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie e.V. und der Forschungsvereinigung der deutschen Beton- und Fertigteilindustrie e.V. für das Jahr 2021 erhoben. Analysiert wurden in dieser EPD alle Stadien des Betons zwischen Rohstoffgewinnung und Herstellung bis hin zur Entsorgung (Cradle-to-Grave). Die

Cradle-to-Grave Stadien sind in die Hauptgruppen Produktionsstadium (A1 bis A3), Stadium der Errichtung des Bauwerks (A4 bis A5), Nutzungsstadium (B1 bis B7), Entsorgungsstadium (C1 bis C4) sowie Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze unterteilt (D). Innerhalb der EPD wird für unbewehrten Konstruktionsbeton im Hochbau, Tief- oder Ingenieurbau die deklarierte Einheit von 1 m<sup>3</sup> betrachtet und für die o. g. Stadien das globale Erderwärmungspotential (GWP), das Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP), das Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP), das Eutrophierungspotenzial (EP), das Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP), das Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – nicht fossile Ressourcen (ADPE), das Potenzial für die Verknappung von abiotischer Ressourcen – fossile Brennstoffe (ADPF) und das Wasser-Entzugspotenzial (WDP). Die Ergebnisse der Ökobilanz sind in Abbildung 23 tabellarisch dargestellt. Aus ihr wird ersichtlich, dass die Untergruppen Rohstoffversorgung (A1), Transport (A2) und Herstellung (A3) innerhalb des Produktionsstadiums das weitaus größte GWP mit 220 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent besitzen. Zum Vergleich: Das zweitgrößte GWP besitzt der Rückbau/Abriss (C1) mit 10,3 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent.

Produktionsstadium			Stadium der Errichtung des Bauwerks		Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium				Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze
Rohstoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport vom Hersteller zum Verwendungsort	Montage	Nutzung/Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau/Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	X	X	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	X	X	X	X	X

ERGEBNISSE DER ÖKOBIANZ – UMWELTAUSWIRKUNGEN nach EN 15804+A2: 1 m <sup>3</sup> Konstruktionsbeton C35/45											
Indikator	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	C1	C2	C3	C4	D	
GWP-total	kg CO <sub>2</sub> -Äq.	220	8,18	0,874	-12	3,32	10,3	5,05	ND	-12,1	
GWP-fossil	kg CO <sub>2</sub> -Äq.	220	8,12	0,862	-12	3,3	10,3	4,99	ND	-12	
GWP-biogenic	kg CO <sub>2</sub> -Äq.	0,375	0,0293	0,012	0	0,0015	0,00371	0,0505	ND	-0,106	
GWP-luluc	kg CO <sub>2</sub> -Äq.	7,4E-02	3,1E-02	3,02E-04	0	1,22E-02	3,93E-02	1,14E-02	ND	-2,02E-02	
ODP	kg CFC11-Äq.	5,44E-08	1,65E-12	2,02E-11	0	6,47E-13	2,09E-12	7,61E-11	ND	-1,5E-10	
AP	mol H <sup>+</sup> -Äq.	0,366	0,0286	0,00124	0	0,0156	0,0357	0,0167	ND	-0,029	
EP-freshwater	kg P-Äq.	2,58E-04	1,61E-05	3,99E-06	0	6,3E-06	2,03E-05	1,91E-05	ND	-4,02E-05	
EP-marine	kg N-Äq.	1,12E-01	1,35E-02	3,99E-04	0	7,42E-02	1,69E-02	7,44E-03	ND	-1,11E-02	
EP-terrestrial	mol N-Äq.	1,32	0,15	0,00414	0	0,082	0,188	0,0814	ND	-0,125	
POCP	kg NMVOC-Äq.	0,315	0,0274	0,000973	0	0,0208	0,0355	0,0204	ND	-0,0269	
ADPE	kg Sb-Äq.	1,88E-05	8,09E-07	4,24E-07	0	3,17E-07	1,02E-06	1,85E-06	ND	-3,67E-06	
ADPF	MJ	1,11E+03	107	11	0	41,9	135	65,3	ND	-156	
WDP	m <sup>3</sup> Welt-Äq. entzogen	3,53	0,0346	0,0207	0	0,00153	0,0438	0,0073	ND	-2,94	

GWP = Globales Erwärmpotenzial; ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – nicht fossile Ressourcen (ADP – Stoffe); ADPF = Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen – fossile Brennstoffe (ADP – fossile Energieträger); WDP = Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer)

Abbildung 23: Ergebnisse der Ökobilanz – Umweltauswirkungen nach EN 15804+A2 für 1 m<sup>3</sup> Konstruktionsbeton C35/45, aus InformationsZentrum Beton GmbH (2023).

Da innerhalb des Produktionsstadiums der Großteil der negativen Umweltauswirkungen entstehen, wird in der LCA aus InformationsZentrum Beton GmbH (2023) berechnet, wie groß die Anteile der Einzelprozesse daran sind. Dies ist in Abbildung 24 als Säulendiagramm dargestellt. Es wird deutlich, dass bei der Herstellung von Beton die Zementherstellung alle Wirkungskategorien dominiert, insbesondere das GWP und ODP. Weiterhin sind die Gewinnung/Herstellung und der

Transport der Rohstoffe ein größerer Einflussfaktor. Die Prozesse im Betonwerk sind bei Treibhaus-, Versauerungs-, Eutrophierungs-, Ozonschichtabbaupotenzial und beim Potenzial für den Abbau abiotischer nicht fossiler Ressourcen sehr gering.

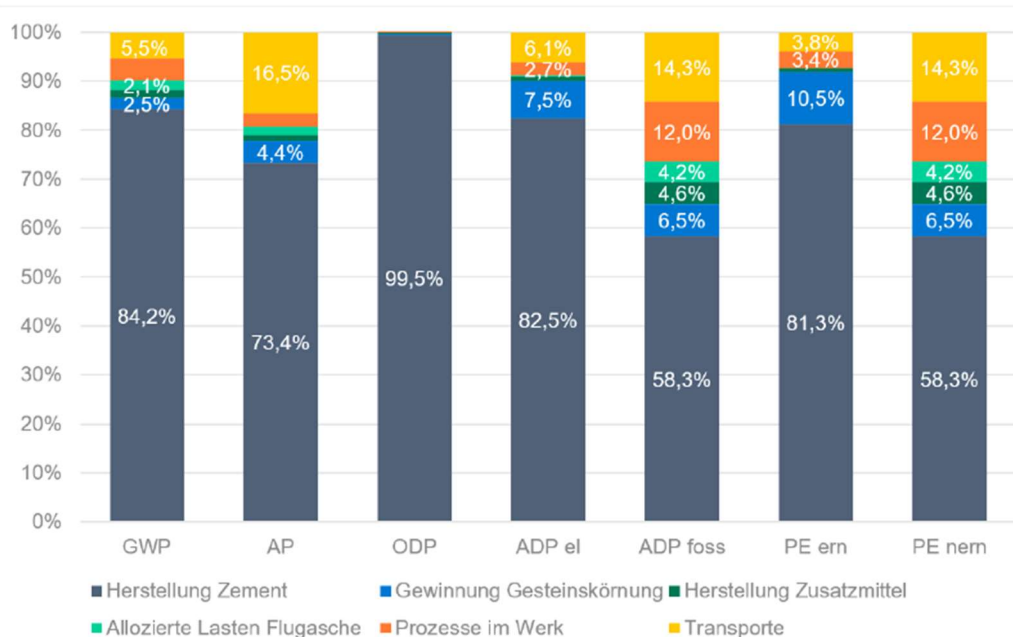


Abbildung 24: Wichtigste Einflussfaktoren der Wirkung und Sachbilanz für die Module A1 Rohstoffversorgung, A2 Transport und A3 Herstellung, aus InformationsZentrum Beton GmbH (2023).

Um die Umweltauswirkungen von Beton zu reduzieren, können verschiedene Ansätze verfolgt werden. Die Verwendung von Zusatzstoffen wie Flugasche, Hüttensand oder Kalksteinmehl kann den Zementgehalt verringern und somit die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren (Hossain et al., 2016). Auch die Optimierung der Betonmischungen durch einen höheren Anteil von Hochleistungsbeton oder anderen innovativen Materialien kann den Bedarf an Beton insgesamt reduzieren, was zu einer Verringerung des Energieaufwands für Transport und Herstellung führen kann (Tam et al., 2012).

LCAs bieten wichtige Einblicke in die Umweltauswirkungen von Beton und ermöglichen es, gezielte Maßnahmen zur Verbesserung seiner Umweltleistung zu identifizieren. Durch die Berücksichtigung von Daten aus wissenschaftlichen Studien und die Anwendung etablierter Methoden kann die Genauigkeit der LCA-Ergebnisse gewährleistet werden, was wiederum zu einer nachhaltigeren Nutzung von Beton in der Bauindustrie führen kann.

Die in diesem Arbeitspaket zusammengeführten Kenntnisse wurden vom ifs an HaBau übergeben.

### Arbeitspaket 8: Berichtserstattung

Die Berichterstattung wie auch das ganze Vorhaben wurde von der Firma von HaBau koordiniert. HaBau lud zu den gemeinsamen Sitzungen ein, erstellte die Agenda und das Protokoll. Jeder Projektpartner lieferte seine Ergebnisse zu den Sitzungen und für die Berichterstellung. Im Projekt wurden zwei Zwischenberichte und ein Abschlussbericht erstellt. Im Nachgang des Projektes ist

neben der Veröffentlichung über die TIB eine wissenschaftliche Publikation der Ergebnisse des ifs in einem internationalen Journal (peer-reviewed) geplant.

#### Verwendete Quellen:

Andrew, R. M. et al. (2018). Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production. Earth System Science Data, 10(1), 195-217.

Lea, F. M. et al. (2006). The chemistry of cement and concrete. CRC Press.

Guinée, J. B. et al. (2011). Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Springer Science & Business Media.

InformationsZentrum Beton GmbH (2023). UMWELT-PRODUKTDEKLARATION nach ISO 14025 und EN 15804+A2 - Beton der Druckfestigkeitsklasse C35/45, Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU).

Hossain, M. U. et al. (2016). Use of waste materials in concrete: A review. Materials Research, 19(Suppl 2), 205-221.

Tam, V. W. et al. (2012). A review on the usage of waste materials in the production of cementitious composites. Resources, Conservation and Recycling, 66, 36-44.

### **3. Zusätzliche Informationen**

- Während der Durchführung des Vorhabens sind dem Zuwendungsempfänger keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden.
- Erfolgte Veröffentlichungen der Ergebnisse:
  - iVTH-Kurzbericht 07/2021: Teilprojekt: Rezeptentwicklung Holzschaum, Druckausgabe
  - ifs Report 2022: Bauen und Sanieren mit Holz-Sandwich-Verbindungen, Druckausgabe
  - Präsentation der Ergebnisse auf Werkstoffplattform HyMat – 2. Statusseminar 2022
  - Präsentation der Ergebnisse auf Werkstoffplattform HyMat – 3. Statusseminar 2023
  - Beitrag zu GreenFront auf der Homepage vom ifs
- Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises:

Am ifs wurden 16,3 von 24 PM verbucht. Die Differenz kam wie folgt zustande: Die Arbeiten am ifs begannen durch die längerfristige Erkrankung des Mitarbeiters eingeschränkt. Leider ist der erkrankte Mitarbeiter des ifs dann unerwartet im Juni 2021 verstorben. Bis zur Wiederbesetzung der Stelle im Oktober 2021 wurden die Arbeiten eingeschränkt mit eigenfinanziertem Personal weitergeführt.

- Fortschreitung des Verwertungsplans:

Die innerhalb des Vorhabens erzeugten Ergebnisse und angepassten Prüfvorschriften bedürfen keiner Anmeldung von Schutzrechten.

Der Bau einer Pilotanlage zur semikontinuierlichen Fertigung von Holzschaumplatten ist von der Butterweck Holzstoffe GmbH & Co. KG geplant und wird seitens des BMUV aus dem Umweltinnovationsprogramm gefördert.

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten haben sich auch mit Ende des Projektes nicht grundlegend geändert.

<b>ZEITHORIZONT</b>	<b>VERWERTUNG</b>	<b>INSTRUMENTE</b>
<b>KURZFRISTIG (1 JAHR)</b>	<p>Akzeptanz für Holz, Holzwerkstoffe und Holz-Hybride im Gebäudebau/Altbausanierung</p> <p>Verbesserung der Wettbewerbssituation. Vorbereitung zum Aufbau von Marktpotentialen (HWS-Industrie)</p> <p>Schaffung neuer Märkte im Bereich Holzbau, Sanierung, Bestandsbau (HWS-Industrie)</p> <p>Unternehmensentwicklung (HWS-Industrie)</p>	<p>Verbreitung / Veröffentlichung der Ergebnisse in Fachzeitschriften</p> <p>Nutzung des Rohstoffs Holz in weiteren Demonstratoren im Zielbereich, z.B. als Wandmodul</p> <p>Marketing, Internetauftritt, Messen</p> <p>Präsentationen bei Konferenzen bzw. Fachtagungen</p>
<b>MITTELFRISTIG (1 - 4 JAHRE)</b>	<p>Steigerung Ertrag und Umsatz (HWS-Industrie)</p> <p>Verbesserung der Voraussetzungen für den Einsatz von Holz und Holz-Hybriden im Maschinenbau</p> <p>Ausbau neu geschaffener Märkte (HWS-Industrie)</p> <p>Verbesserung der Ausbildung im Zielbereich Holzmaterialien für Maschinenbau-Ingenieure</p> <p>Verzahnung der Konsortiums-partner</p> <p>Etablierung von neuer Technologie im Bereich Holzschaum</p> <p>Etablierung einer eigenen Holzschaumherstellung im Werk (Ha-Bau) zur Verwertung von Anfallenden Hölzern.</p>	<p>Nutzung von Holz und Holzwerkstoffen in Ingenieurwendungen; Eintritt in den neuen Absatzmarkt Deckenerneuerung/Altbausanierung für eigene Produkte</p> <p>Bereitstellen der Berechnungsgrundlagen (analytisch und Simulation) sowie der Kennwert</p> <p>Marketingkampagnen</p> <p>Verfügbarkeit der günstigen, sicher und leicht zu kalkulierenden Materialien Holz und Holzwerkstoffe</p> <p>Durch gemeinsame Methodenentwicklung und –anwendung sollen Grundlagen für spätere Normung und einheitlich vergleichbare Daten gelegt werden</p> <p>Bereitstellen der Grundlagen Holzschaumherstellung, Lizenzierung</p> <p>Schaffung neuer Absatzmärkte, Müllvermeidung und Recycling.</p>
<b>LANGFRISTIG (&gt; 4 JAHRE)</b>	<p>Sicherung vorhandener und Schaffung neuer Arbeitsplätze in Deutschland</p> <p>Erhöhung der Wertschöpfung von Holzprodukten und von Nischenholzarten</p>	<p>Verstetigung der Organisation aller beteiligten Industrien und Forschungspartner</p> <p>Kennwertauswertung und Abschätzung des Eignungsverhaltens unter Einsatz der Prüf- und Berechnungsmethode</p>

Entwicklung neuer Holzprodukte und -hybride unter Maßgabe der Berechnungsmodelle	Einsatz des Projektwissens zum Engineering von Holzkompositen und Holz-Hybriden mit definiertem Eigenschaftsprofil
Erhöhung der Wertschöpfung von Holz	Nutzbarmachung geringer Holzqualitäten
Verbesserung des Baubestandes in Deutschland durch Dämmung mit neuen Fassadenelementen	Etablierung des Deckenmoduls als bewährtes Sanierungskonzept

Auch die wissenschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten nach Projektende haben sich mit Abschluss des Projektes nicht geändert.

<b>ZEITHORIZONT</b>	<b>VERWERTUNG</b>	<b>INSTRUMENTE</b>
<b>KURZFRISTIG (1 JAHR)</b>	Verbreitung der Ergebnisse für Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik	Präsentation auf nationalen und internationalen Tagungen der Holz- und Materialwissenschaft sowie Maschinenbau
<b>MITTELFRISTIG (1 - 4 JAHRE)</b>	Heranbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses in den betroffenen Wissensdisziplinen  Transfer der Ergebnisse im branchenspezifischen Cluster  Heranbildung des wissenschaftlichen / branchenspezifischen Nachwuchses  Verbreitung der wissenschaftlichen Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt  Folgeprojekte	Möglichkeit der Promotion bzw. Weiterbeschäftigung an den bearbeitenden Institutionen  Ergebnisvorstellung z.B. bei / über den Cluster Forst Holz Bayern  Vorstellung der Ergebnisse in der Lehre: Lehrveranstaltungen der Forst- und Holzwissenschaften, des Bauingenieurwesens und des Maschinenbaus sowie interdisziplinäre Veranstaltungen  Publikationen in Fachjournalen, z. B.: European Journal of Wood and Wood Products, Wood Science and Technology, ebenso im Holzbau
<b>LANGFRISTIG (&gt; 4 JAHRE)</b>	Verzahnung Forschung / Industrie  Holz wird in den Material- und Werkstoffwissenschaften als leistungsfähiger Komposit- und Hybridwerkstoff anerkannt	Netzwerkbildung allgemein  Ausdehnung der Beforschung auf dynamische Berechnungsansätze, z.B. Crash- und Ermüdungsverhalten