

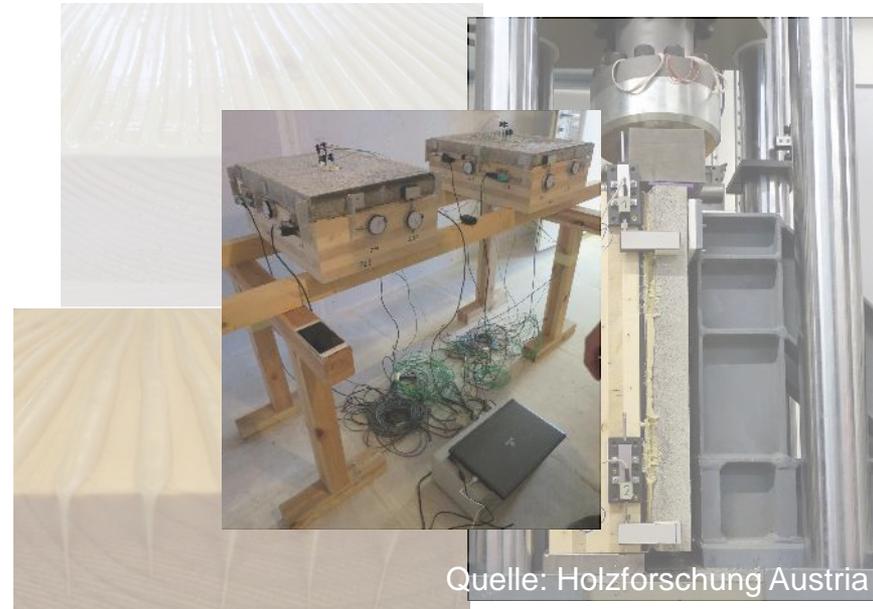
VERKLEBUNG ALS VERBUND FÜR HOLZ-BETON-DECKENSYSTEME

Dipl.-Ing. Dr.techn. Christoph Hackspiel
Camillo Sitte Bautechnikum & Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik



AGENDA

- Holz-Beton-Verbund
- Aktuelle Forschungsentwicklung
 - Auswahl Klebstoffe & Zwischenschichten
 - Entwicklung Füge-technik für Holz & Beton
 - Untersuchung des Kriecheinflusses
 - Untersuchung Dauerhaftigkeit
 - Geklebte HBV-Prototypen
- Zusammenfassung und Schlussfolgerungen
- Zukunftspotenzial



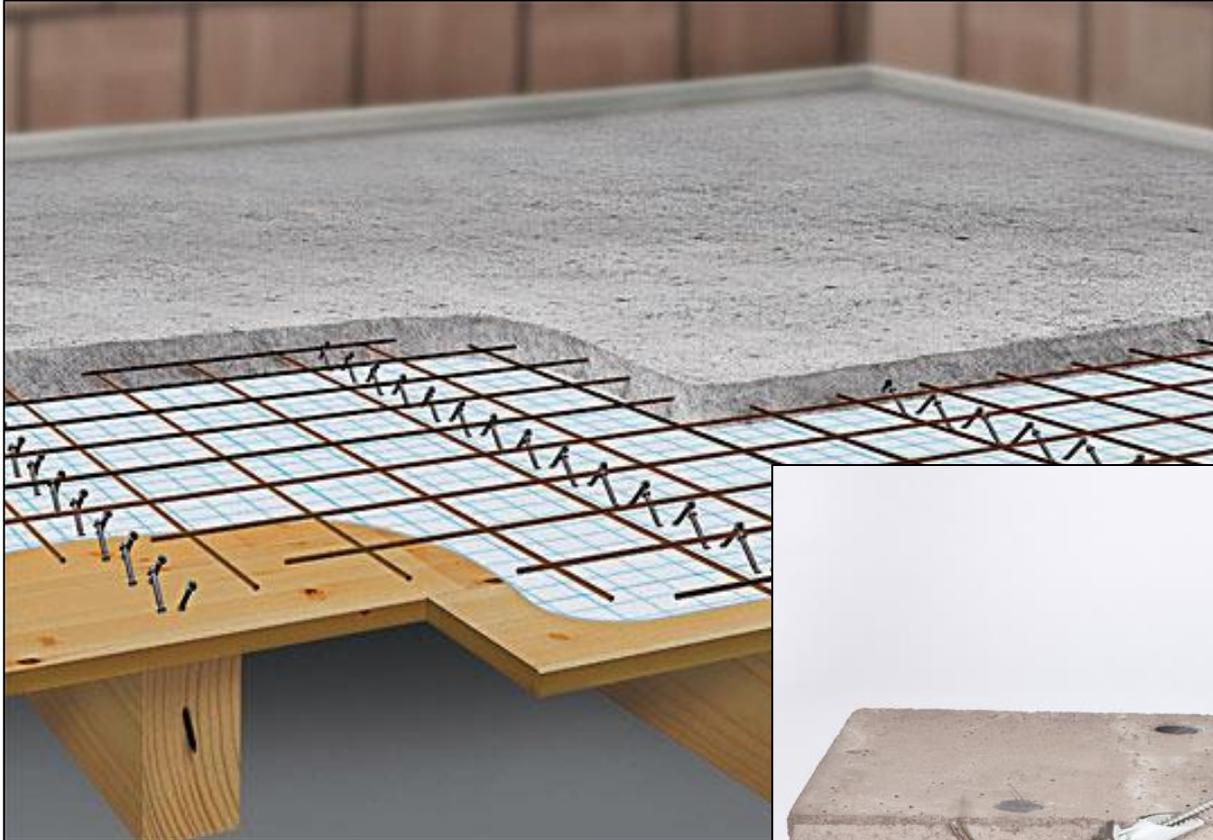
Quelle: Holzforschung Austria

HOLZ-BETON- VERBUNDSYSTEME



Quelle: www.brettstapel.de

HOLZ-BETON- VERBUNDSYSTEME

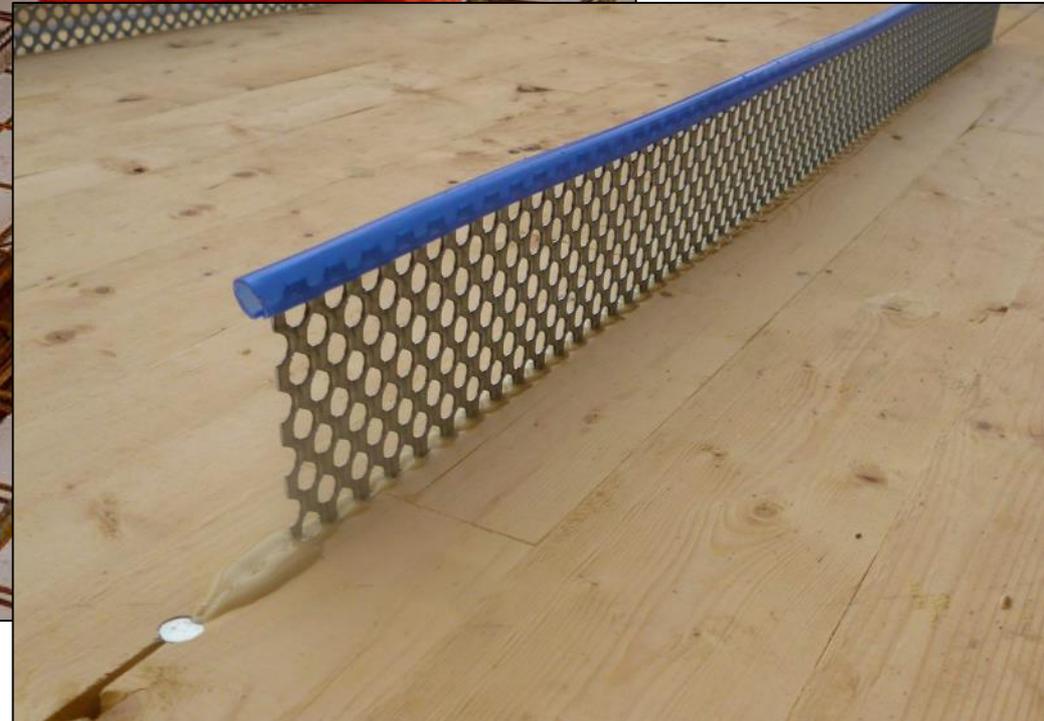
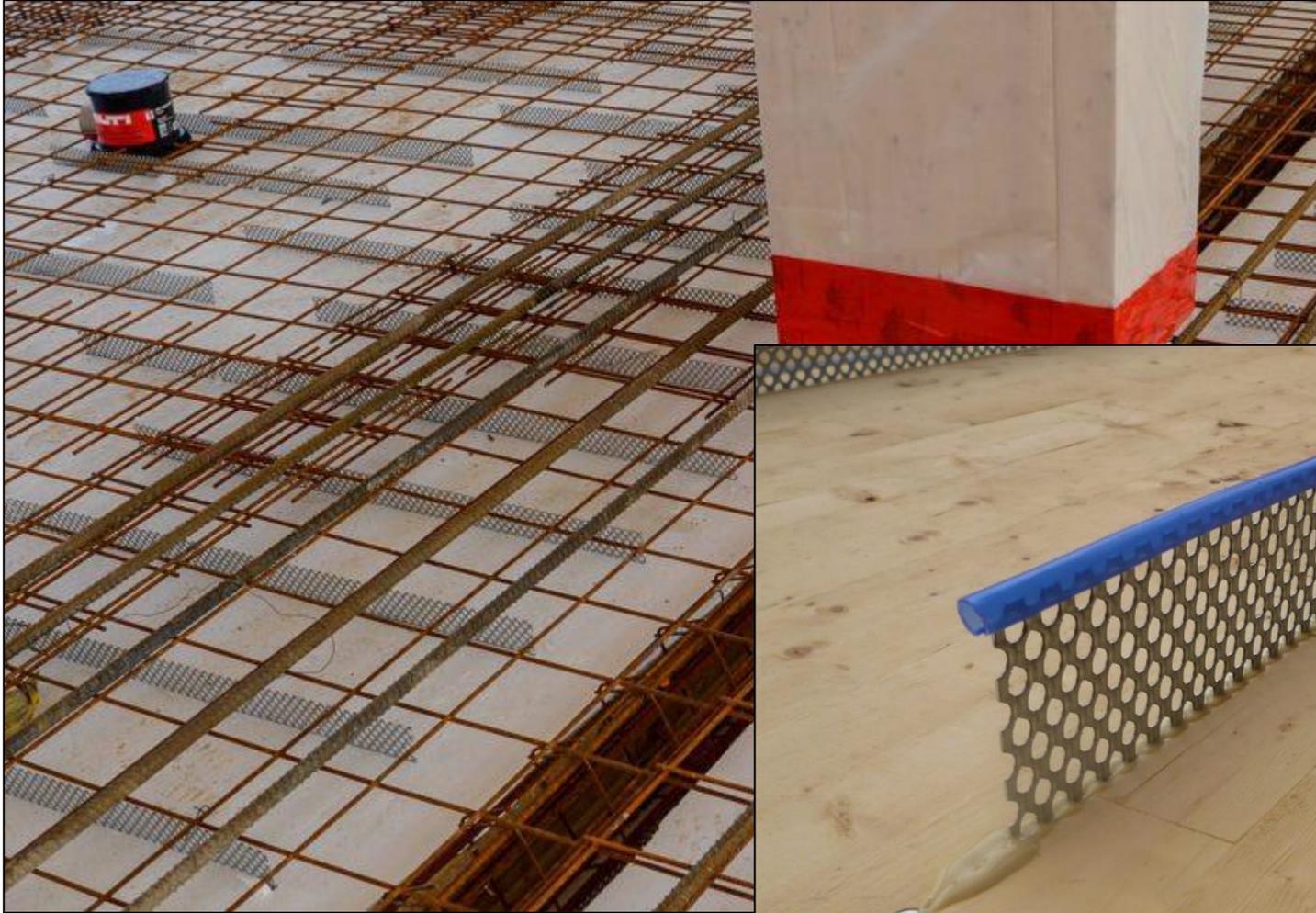


Quelle: www.sfsintec.biz

Quelle: www.wuerth.de



HOLZ-BETON- VERBUNDSYSTEME



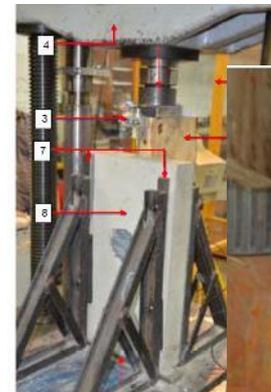
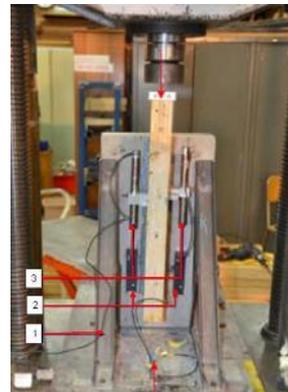
Quelle: www.ticomtec.de

HOLZ-BETON- VERBUNDSYSTEME

Verklebung von Holz und Beton

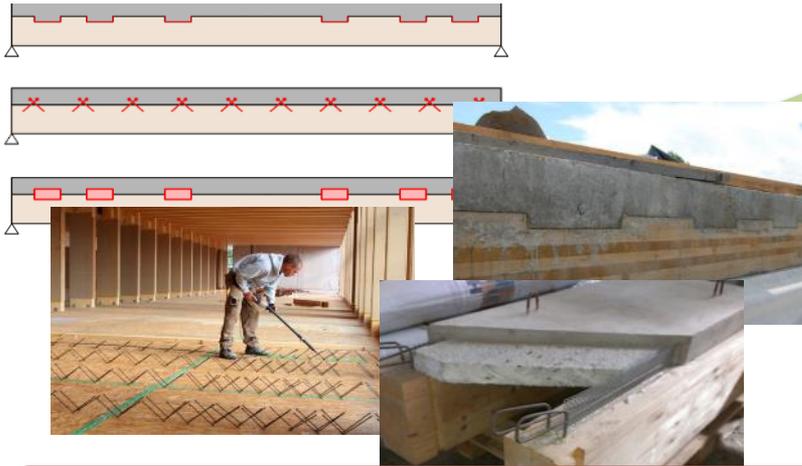


S. Kühlborn, L. Eisenhut, W. Seim
University of Kassel, Chair of Building
Rehabilitation and Timber Engineering

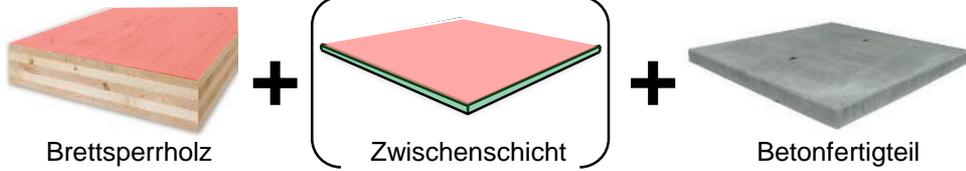


R. Shrestha, J. Mak, K. Crews
University of Technology Sydney,
School of Civil and Environmental Engineering

AKTUELLE FORSCHUNGSENTWICKLUNG

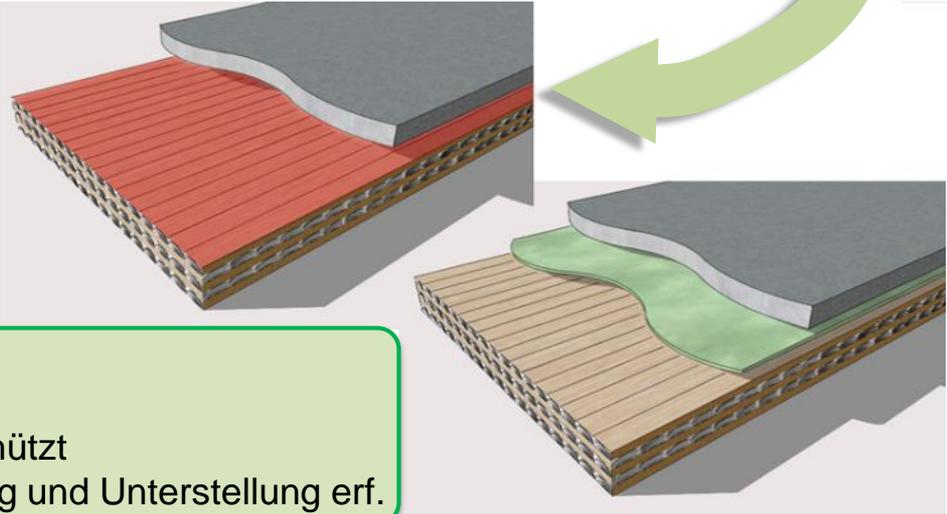


VERKLEBUNG



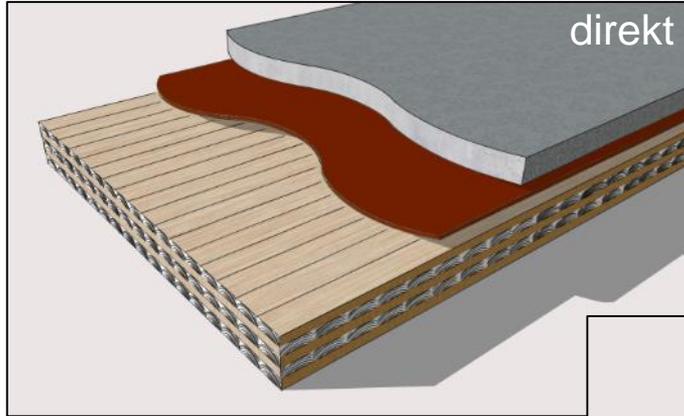
- arbeitsintensiv
- kostenintensiv
- zeitaufwändig
- Schubkraftübertragung punkt- bzw. linienförmig

geklebte Holz-Beton-Verbunddeckensysteme

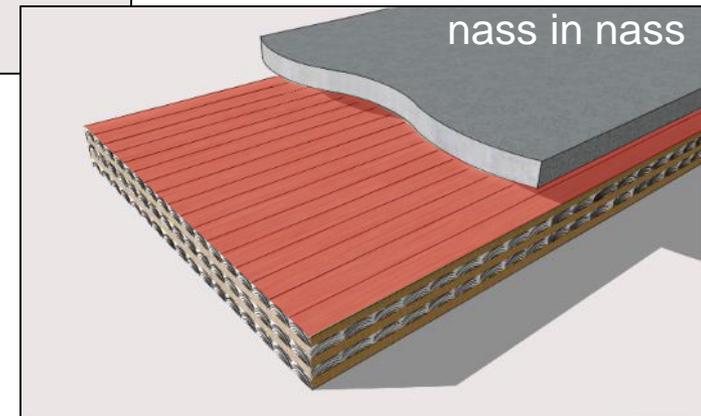
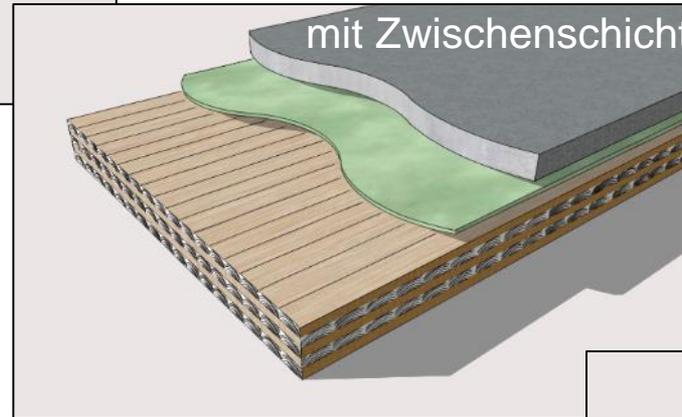


- + hoher Vorfertigungsgrad
- + vollflächige Schubkraftübertragung
- + Brettsperrholz vor Feuchtigkeit geschützt
- + Kürzere Bauzeit, da keine Aushärtung und Unterstellung erf.

GEKLEBTER VERBUND VON HOLZ UND BETON

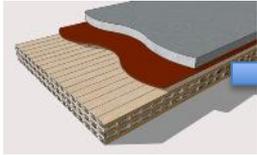


- ✓ innovative Fügemethoden (mit/ohne Zwischenschicht)
- ✓ Verklebung mit **synthetischen** und **mineralischen** Klebstoffen möglich



- + Vorfertigung im Werk
- + trocken als Vollfertigteil auf die Baustelle
- + keine Unterstellung notwendig
- + kurze Bauzeit, wirtschaftlich

GEKLEBTER VERBUND VON HOLZ UND BETON



Holz + Beton
direkt verklebt
(Beton – **Fertigteil**)

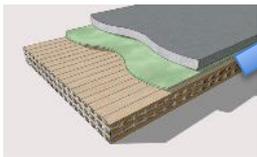


BRETTSPERRHOLZ

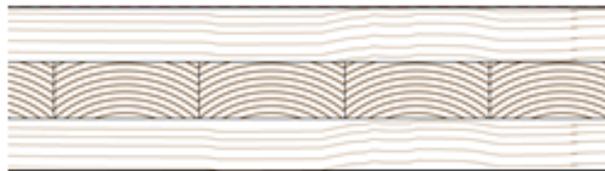
GEKLEBTER VERBUND VON HOLZ UND BETON



Holz + Beton
direkt verklebt
(Beton – **Fertigteil**)



Holz + Beton
mit Zwischenschicht
(Beton – **Fertigteil**)

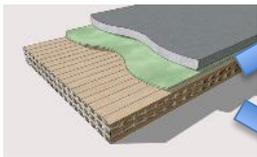


BRETTSPERRHOLZ

GEKLEBTER VERBUND VON HOLZ UND BETON



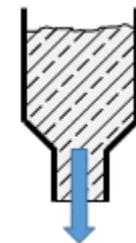
Holz + Beton
direkt verklebt
(Beton – Fertigteil)



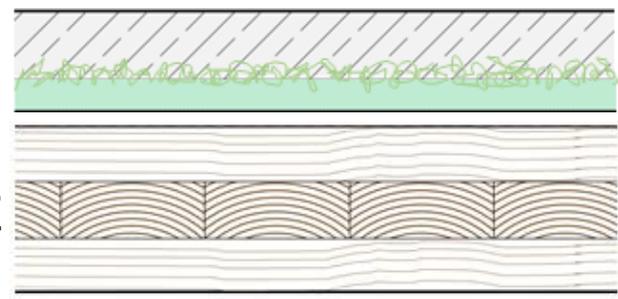
Holz + Beton
mit Zwischenschicht
(Beton – Fertigteil)

Holz + Beton
mit Zwischenschicht
(Ortbeton)

Ortbeton



BRETTSPERRHOLZ



GEKLEBTER VERBUND VON HOLZ UND BETON

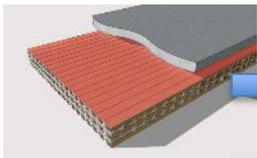


Holz + Beton
direkt verklebt
(Beton – Fertigteil)

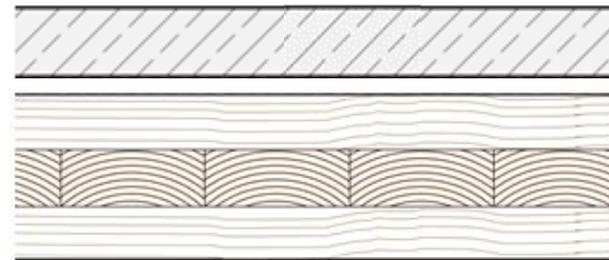
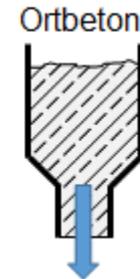


Holz + Beton
mit Zwischenschicht
(Beton – Fertigteil)

Holz + Beton
mit Zwischenschicht
(Ortbeton)



Holz + Beton
direkt verklebt
(Ortbeton)



„Nass in Nass“

ENTWICKLUNG EINES GEKLEBTEN VERBUNDES

Voruntersuchung &
Materialauswahl

Entwicklung
Fügetechnik

Evaluierung &
Auswertung

Wirtschaftlichkeit

ENTWICKLUNG EINES GEKLEBTEN VERBUNDES

Voruntersuchung & Materialauswahl

- Erhebung des IST-Zustandes
- Definition Anforderungsprofil
- Voruntersuchungen Zwischenschicht und Klebstoff
- Materialauswahl

Entwicklung Füge-technik

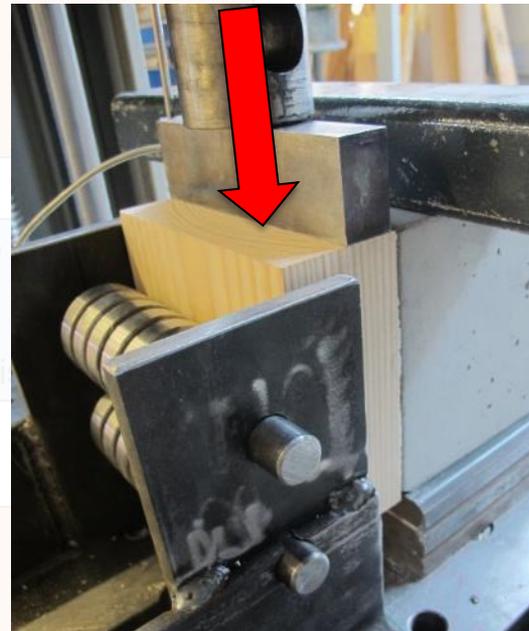
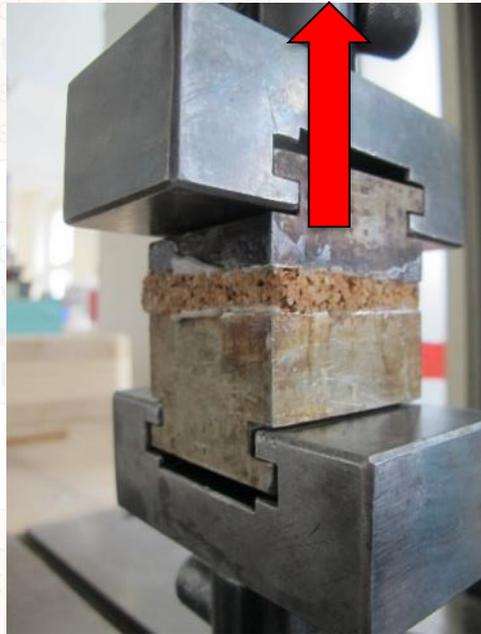
Evaluierung & Auswertung

Wirtschaftlichkeit

- Entwicklung der Füge-technik
- mit/...
- Syn...
- Hers...
- Hers...

- Dur...
- Aus...
- Inter...
- Sch...

- KMU...
- Wirt...
- Bau...



Quelle: Holzforschung Austria

ENTWICKLUNG EINES GEKLEBTEN VERBUNDES



Voruntersuchung & Materialauswahl

Entwicklung Fügetechnik

- Entwicklung der Fügetechnik
- mit/ohne Zwischenschicht
- Synthetische bzw. mineralische Kleber
- Herstellung mittelgroßer Probekörper
- Herstellung Prototypen im Großmaßstab



Evaluierung & Auswertung

Wirtschaftlichkeit

- Durchführung
- Auswertung der
- Interpretation
- Schlussfolgerung

ca. 60 cm

ca. 40 cm



Leistungsfähigkeit



Quelle: Holzforschung Austria

ENTWICKLUNG EINES GEKLEBTEN VERBUNDES

Quelle: Holzforschung Austria

DIREKT					ZWISCHENSCHICHT				
vollflächig		partiell		NASS	"SikaLayer 03" vollflächig	mit funkt. Zwischenschicht vollflächig	mit Zwischenschicht + Ortbeton vollflächig		
3 mm Zahnspachtel	1 mm Zahnspachtel	Räupen	mit Abstand	Ortbeton in Kleber	Dämmplatte + Klebstoffstreifen	Industriekork 3,0 mm	Elastomerlager 6,0 mm	Elastomer Gelege	Holzwolle
5	6	5	3	5	6	5	6	6	5
5	6	5	3	5	6	5	6	6	5
5	6			5	6	5	6	6	5
5	6			5	6	5	6	6	5

Herstellung Prototypen im Großmaßstab

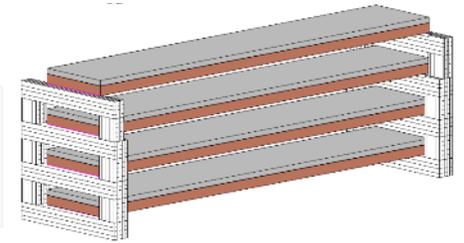
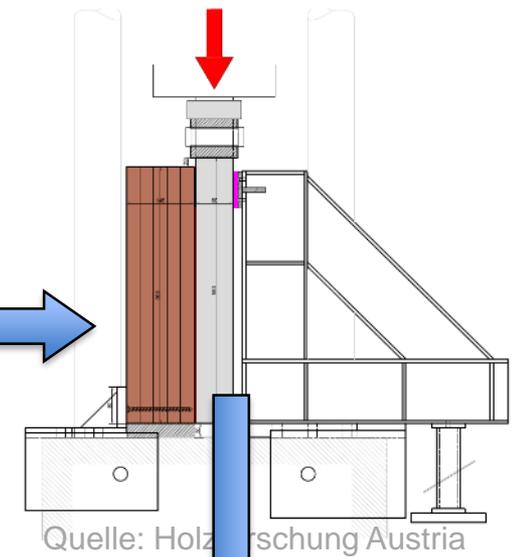
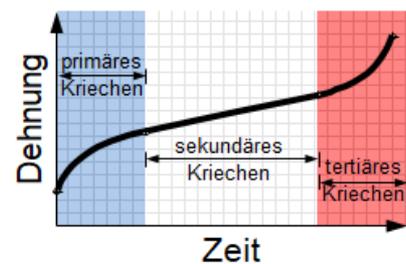
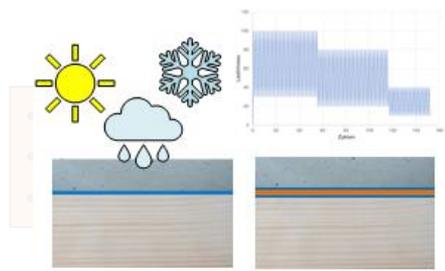
Voruntersuchung & Materialauswahl

Entwicklung Fügechnik

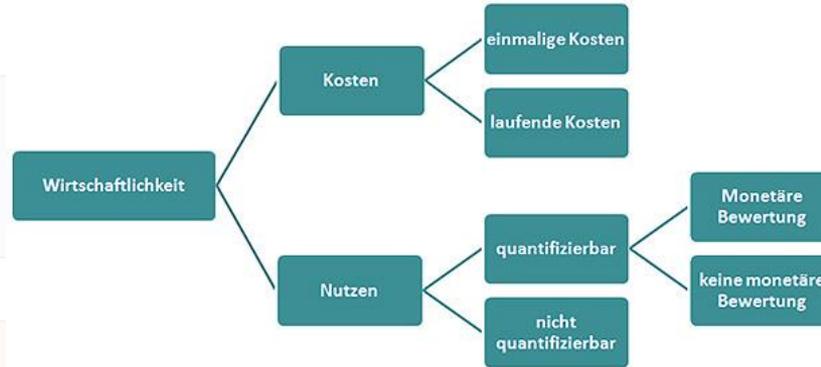
Evaluierung & Auswertung

Wirtschaftlichkeit

- Durchführung Schub- und Biegeversuche
- Auswertung der Ergebnisse
- Interpretation der Resultate
- Schlussfolgerungen und Vergleich der Leistungsfähigkeit



ENTWICKLUNG EINES GEKLEBTEN VERBUNDES



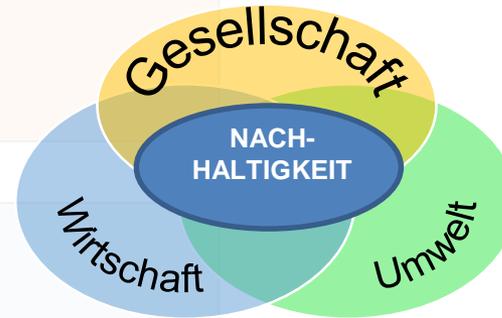
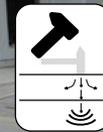
Voruntersuchung & Materialauswahl

Entwicklung Füge-technik

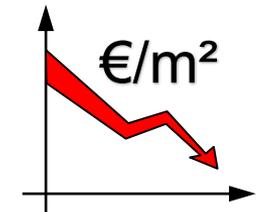
Evaluierung & Auswertung



Quelle: Holzforschung Austria



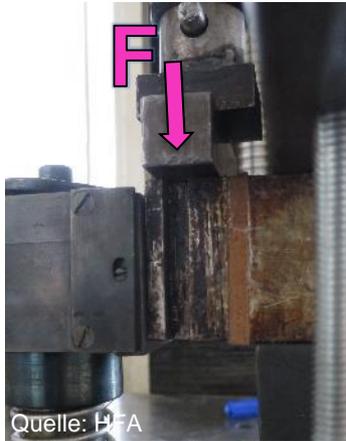
Wirtschaftlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> • KMU-Nutzen • Wirtschaftlichkeitsanalyse • Bauphysikalische Untersuchungen
--------------------	---



ENTWICKLUNG EINES GEKLEBTEN VERBUNDES

KLEINVERSUCHE

50 x 50 mm
150 x 150 mm



Bestimmung
Materialparameter
Zwischenschicht &
Klebstoff

**Auswahl Klebstoff und
Zwischenschicht**

MITTELGROSSE VERSUCHE

40 x 60 cm

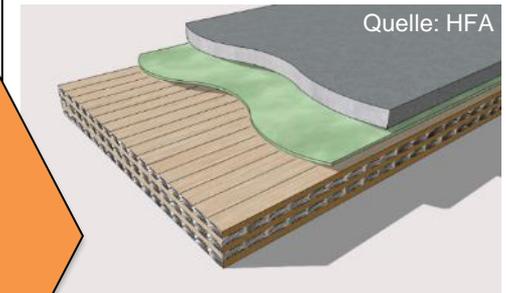


Entwicklung Fügetechnik
Verifizierung Ergebnisse
aus Kleinversuchen

Fügetechnik

GROSSVERSUCHE

0,60 x 5,0 m



Herstellung
großformatiger Prototypen
Kriechversuche

**Leistungsfähigkeit
geklebter Verbund**

SCHRITT 1

AUSWAHL KLEBSTOFFE & ZWISCHENSCHICHTEN

VORUNTERSUCHUNG & MATERIALAUSWAHL

■ Anforderungen an Klebstoff und Zwischenschicht:

Mechanische Parameter

Schubfestigkeit
Schubmodul
Querzugfestigkeit
Viskosität

Bauphysikalische Parameter

dynamische Steifigkeit
Trittschallverbesserungsmaß

Ökonomische Parameter

Preis /m² bzw. Preis/to

Ökologische Parameter

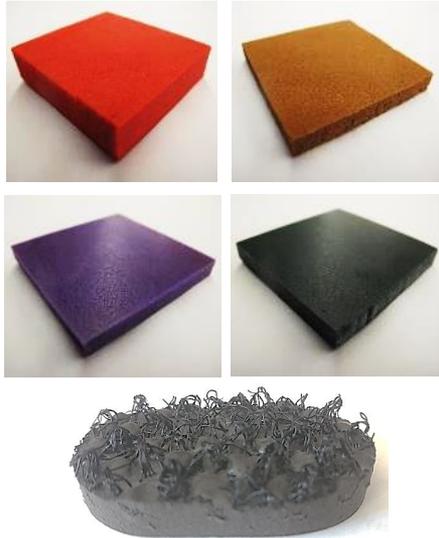
Primärenergieverbrauch Produktion
Rezyklierbarkeit

Produktspezifische Parameter

Verarbeitung
Liefergrößen
Verfügbarkeit

VORUNTERSUCHUNG & MATERIALAUSWAHL

Elastomerlager



Gummimatten



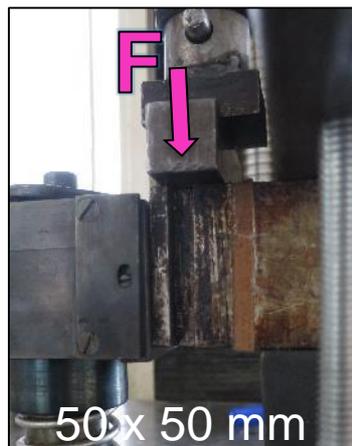
Industriekork



Holzwolleplatten

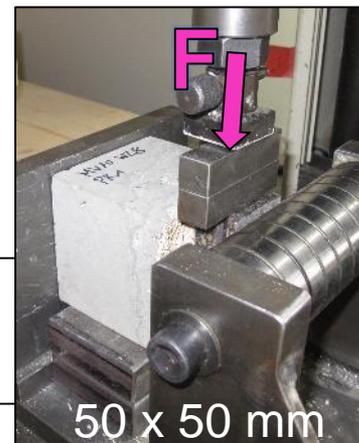


Quelle: Holzforschung Austria

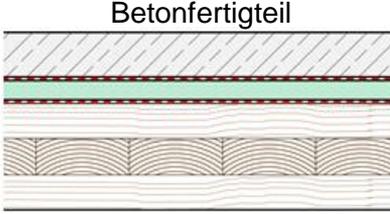


Schubversuche
Zwischenschicht

Schubversuche
Zwischenschicht + Aufbeton



VORUNTERSUCHUNG & MATERIALAUSWAHL

1		Elastomerlager	Beton – Fertigteil	
2		Industriekork		

VORUNTERSUCHUNG & MATERIALAUSWAHL

2K-PUR

2K-PUR_1 2K-PUR_5
 2K-PUR_2 2K-PUR_6
 2K-PUR_3 2K-PUR_7
 2K-PUR_4 2K-PUR_8

1K-PUR

1K-PUR

SILAN

2K-SILAN
 1K-SILAN
 1K-SM_POLY_1
 1K-SM_POLY_2

2K-EPOXY_1
 2K-EPOXY_2

2K-Epoxidharz

Kunstharz

KH

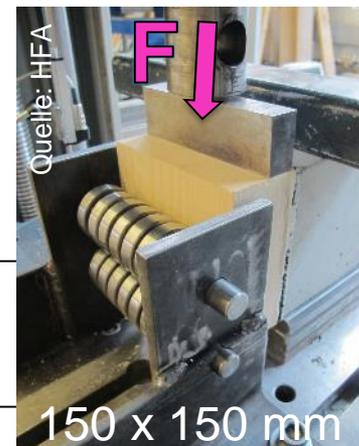
1K-HYD

HYDRAULISCH



Schubversuche
 direkte Verklebung

Schubversuche
 mit Zwischenschicht



VORUNTERSUCHUNG & MATERIALAUSWAHL

KLEBSTOFFE

ZWISCHENSCHICHTEN

2K-PUR

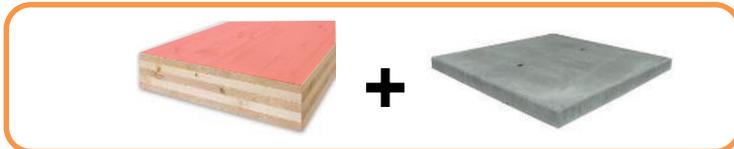
SILAN

HYDRAULISCH

2K-PUR_1
2K-PUR_6

1K-SM_POLY_2

1K-HYD_trocken
1K-HYD_nass



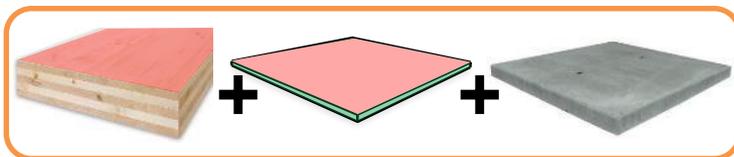
DIREKT
VERKLEBT
(„Trocken“)

2K-PUR_1
2K-PUR_6
1K_HYD_TROCK
1K-SM_POLY_2



DIREKT
VERKLEBT
(„Nass in Nass“)

1K_HYD_NASS



Elastomer E4_6
Industriekork

2K-PUR_6



Elastomer Gelege
Holzwolleplatten

2K-PUR_6

ENTWICKLUNG
EINER
FÜGE-
TECHNIK

SCHRITT 2

ENTWICKLUNG FÜGETECHNIK FÜR HOLZ & BETON

ENTWICKLUNG EINER FÜGETECHNIK

Methode Gießen

Quelle: HFA



Methode Spachtelung

- + einfache Applikation
- + i.d.R. keine Auflast erforderlich
- + 1-3 mm Fugendicke je nach Spachtel
- + Ausgleich von Unebenheiten möglich

Methode Distanzleiste + Auflast



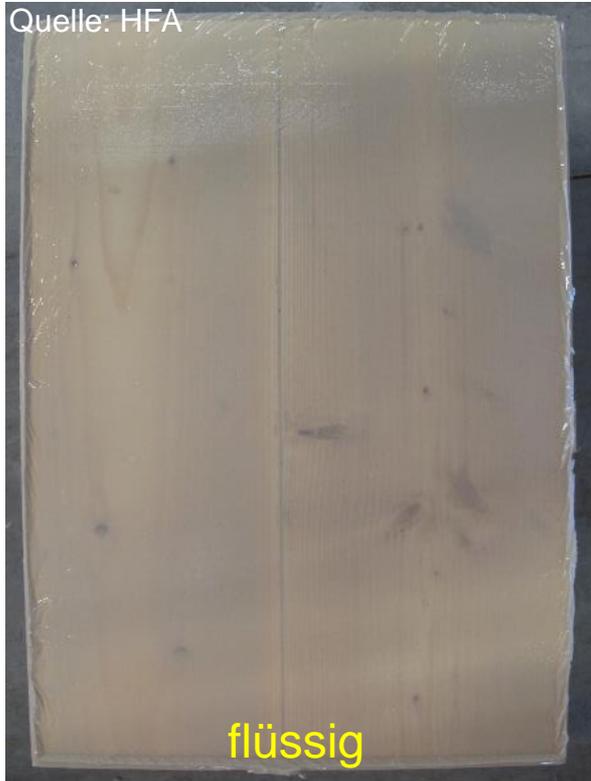
- + definierte Fugendicke sichergestellt
 - + vollflächige Verklebung sichergestellt
 - Herstellung aufwändig
 - Anpressdruck erforderlich
- hohe Viskosität erforderlich!



Visuelle Beurteilung

ENTWICKLUNG EINER FÜGETECHNIK

niedrig-viskos



mittel-viskos



hoch-viskos

nicht möglich
(zu hoch-viskos)

standfest

Methode Gießen

ENTWICKLUNG EINER FÜGETECHNIK

niedrig-viskos

nicht möglich
(zu niedrig-viskos)

flüssig

mittel-viskos

Quelle: HFA

viskos

hoch-viskos

Quelle: HFA

standfest

Methode Spachtelung (C3)

ENTWICKLUNG EINER FÜGETECHNIK

FAZIT VISUELLE BEURTEILUNG

Variante	
Distanzleiste + Schraubzwinge	
Gießen	
C1	 C1 4,0 4,0 4,0
C2	 C2 6,0 6,0 6,0
C3	 C3 3,0 3,0 3,0
S1	 S1 0,10 1,6 2,55
S2	 S2 0,1 4,2 3,35
R3	 R3 2,4 6,0 5,0

ERMITTLUNG DER TRAGFÄHIGKEIT IM SCHUBVERSUCH

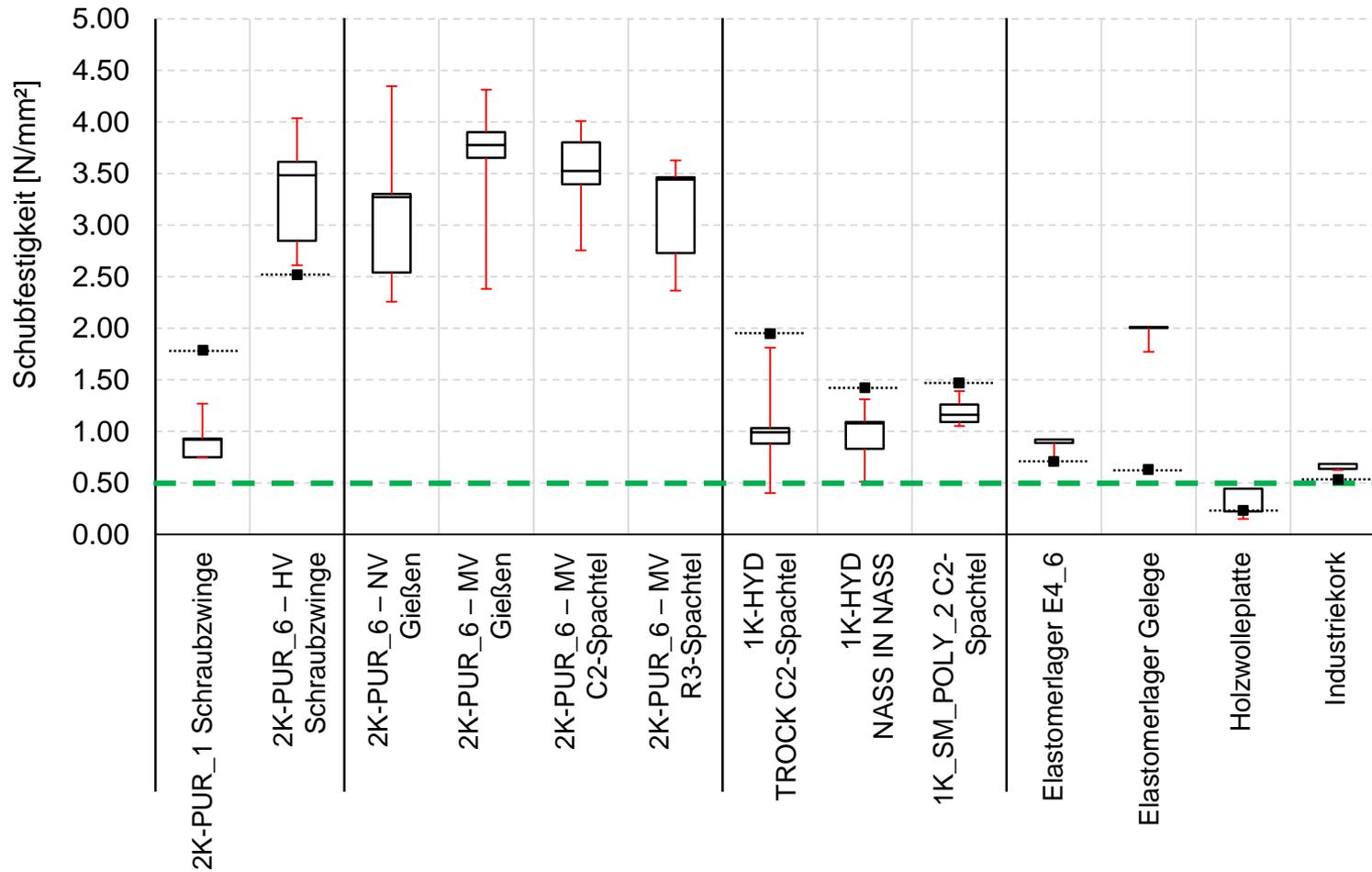
- Untersuchung anhand von mittelgroßen Probekörpern (ca. 40 x 60 cm)
- verschiebungsgesteuerte Belastung bis zum Bruch
- Aufzeichnung von:
 - Kraft & Maschinenweg von der Prüfmaschine
 - Relativverschiebung zw. Holz und Beton (beidseitig des PK oben & unten)
- untersuchte Prüfserien:
 - direkte Verklebung:
 - 2K_PUR_1, 2K_PUR_6 (NV/MV/HV)
 - 1K_HYD (TROCKEN/NASS)
 - 1K_SM_POLY_2
 - mit Zwischenschicht
 - 2K_PUR_6 - HV



Quelle: HFA

UNTERSUCHUNG EINER FÜGETECHNIK

AUSWERTUNG SCHUBFESTIGKEIT



UNTERSUCHUNG EINER FÜGETECHNIK

BRUCHBILDER DIREKTE VERKLEBUNG

DISTANZLEISTE + SCHRAUBZWINGE

GIESSEN

C2

R3



Quelle: HFA

2K_PUR_1

2K_PUR_6 hochviskos

2K_PUR_6 niedrigviskos

2K_PUR_6 mittelviskos

2K_PUR_6 mittelviskos

2K_PUR_6 mittelviskos

Klebstoff

Beton/Holz

Beton

Beton

Beton

Beton



UNTERSUCHUNG EINER FÜGETECHNIK

BRUCHBILDER MIT ZWISCHENSCHICHT

DISTANZLEISTE + SCHRAUBZWINGE



Quelle: HFA



E4_6

Gelege

Industriekork

Holzwole

Adhäsion

Faserauszug

Kork

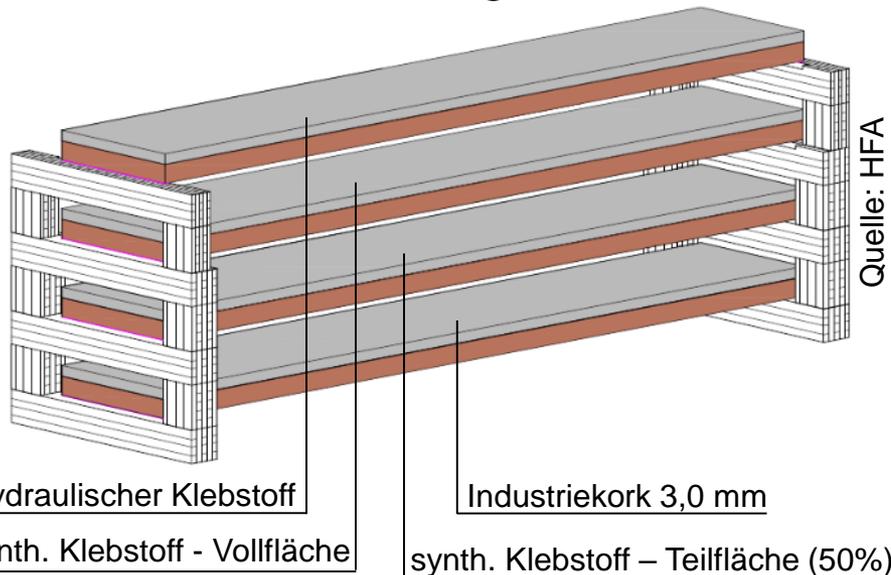
Holzwoleplatte

SCHRITT 3

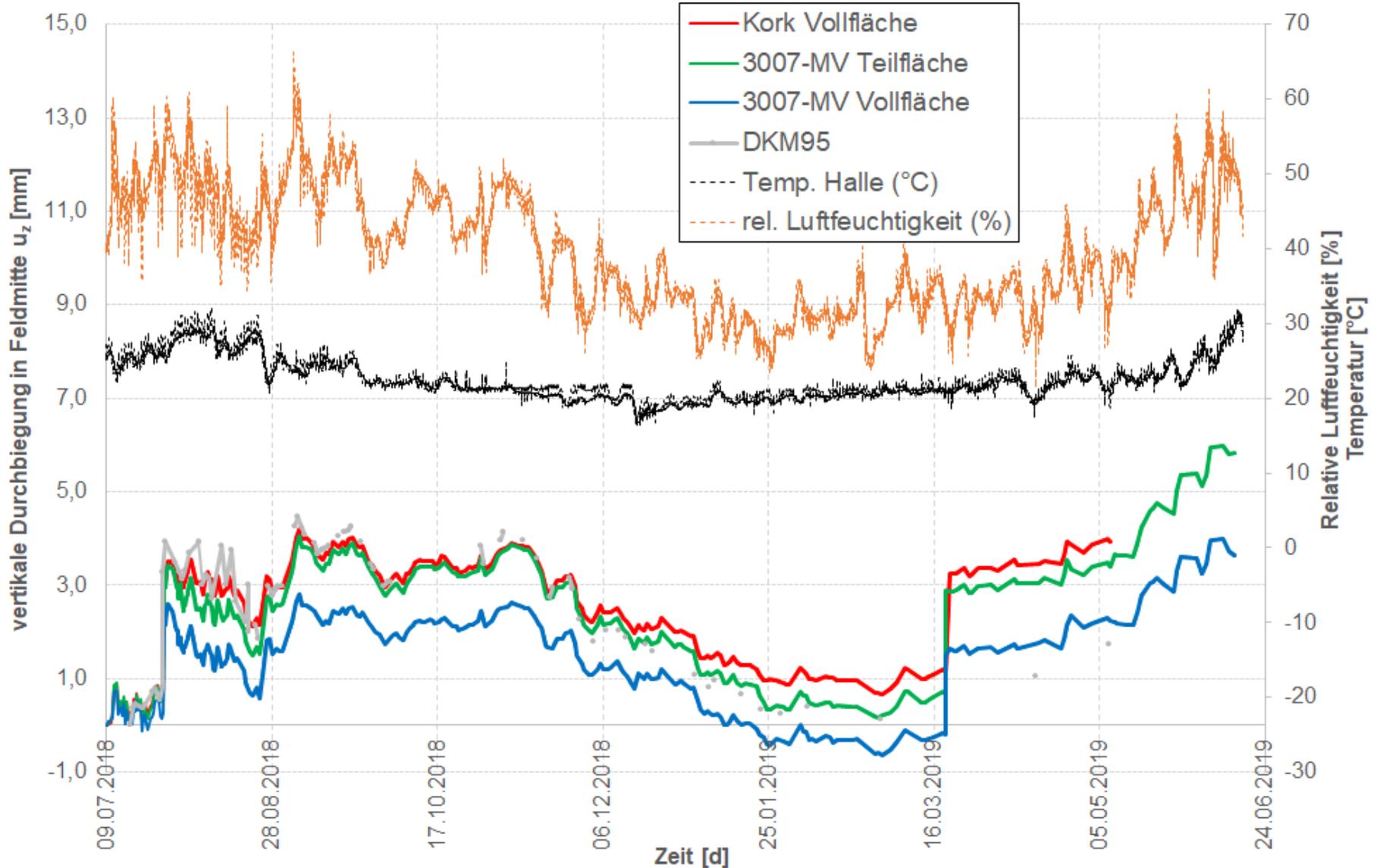
UNTERSUCHUNG DES KRIECHEINFLUSSES

KRIECHPROBEKÖRPER

- Anzahl: 4 Probekörper (3 synthetischer + 1 hydraulischer Klebstoff)
- Aufbau: 120 mm 3s-BSP + ca. 70 mm Betonfertigteile C25/30
- Abmessungen: Länge 5,0 m; Breite 0,60 m
- Eigengewicht: ca. 680 kg
- Auflast: ca. 630 kg



ERGEBNIS KRIECHEN

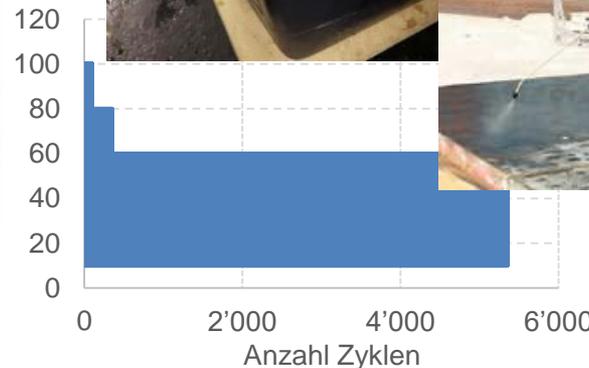


SCHRITT 4

UNTERSUCHUNG DAUERHAFTIGKEIT

DAUERHAFTIGKEIT - ÜBERSICHT

- zyklische Klimaversuche (Klimakammer)
- zyklische mechanische Versuche
- Tief- und Hochtempertaturversuche (-15 / +60°C)
- Wasserlagerung
- Schalöluntersuchungen



DAUERHAFTIGKEIT

z. B. zyklische mechanische Versuche



Quelle: HFA

Quelle: HFA

2K_PUR_1

Adhäsion Klebstoff

2K_PUR_6 (HV)

Beton

z. B. Tieftemperatur -15°C



Quelle: HFA

Quelle: HFA

2K_PUR_1

Adhäsion Klebstoff

2K_PUR_6 (HV)

Beton/Holz

DAUERHAFTIGKEIT

Zusammenfassung der Ergebnisse:

Klebstofftyp	Zyklische mechanische Beanspruchung	Temperatur		Wasserlagerung	Schalöl	
		+60°C	-15°C		Variante 1	Variante 2
2K-PUR_1	0,75	0,06	2,01	-	1,14	0,23
2K-PUR_6	1,27	0,98	2,08	+	1,46	0,65
1K-HYD TROCK	0,50	0,10	1,34	-	1,23	0,68
1K-HYD NIN	0,60	0,08	1,25	+	-	-
1K-SM_POLY_2	0,58	0,47	0,72	+	1,32	0,49

	$k_{mod} > 1,00$
	$0,50 < k_{mod} \leq 1,00$
	$0,25 < k_{mod} \leq 0,50$
	$0 < k_{mod} \leq 0,25$

Berechnung k_{mod} -Faktoren:
$$k_{mod} = \frac{f_{Dauerhaftigkeit}}{f_{Referenz}}$$

SCHRITT 5

GEKLEBTE HBV- PROTOTYPEN

GEKLEBTE HBV- PROTOTYPEN

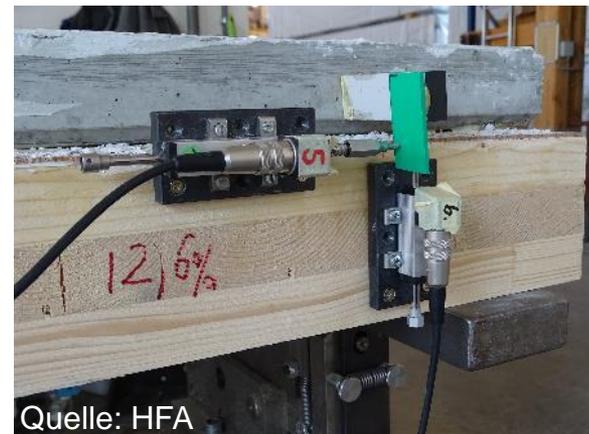
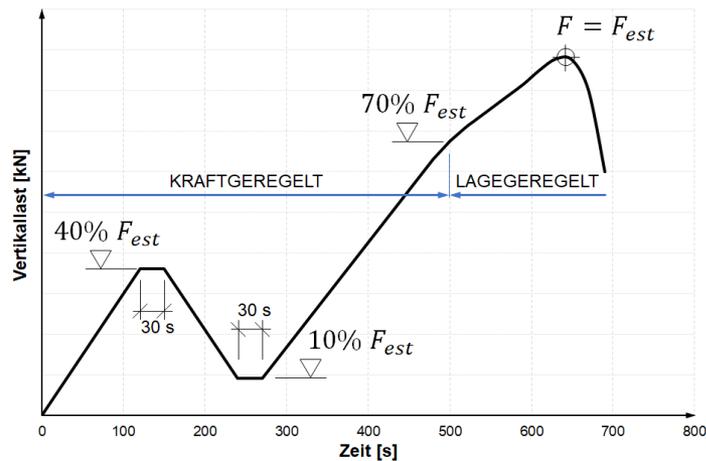
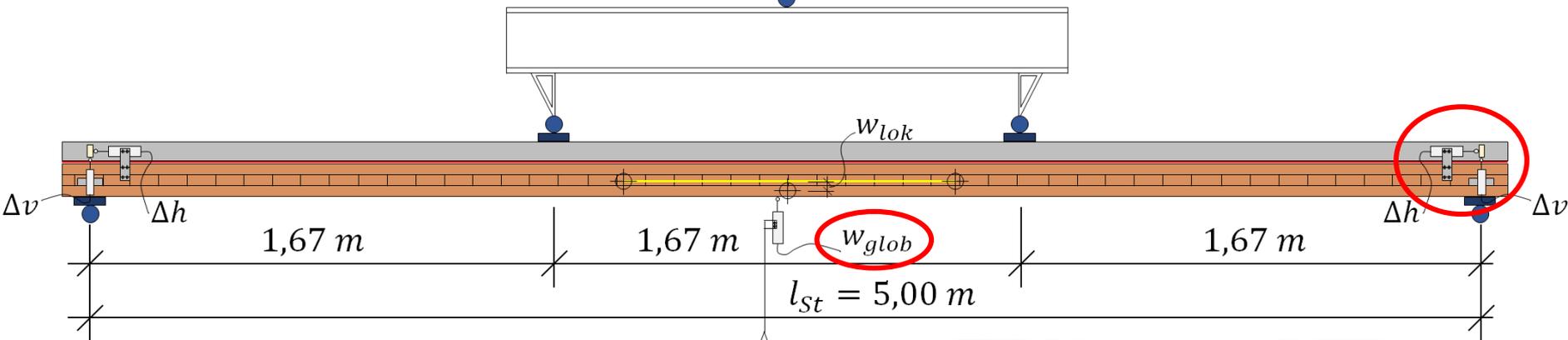
Herstellung von direkt verklebten HBV-Prototypen



GEKLEBTE HBV-PROTOTYPEN

Vier-Punkt-Biegeprüfung HBV-Prototypen

W ↓ **F**



Quelle: HFA

GEKLEBTE HBV- PROTOTYPEN

Vier-Punkt-Biegeprüfung HBV-Prototypen

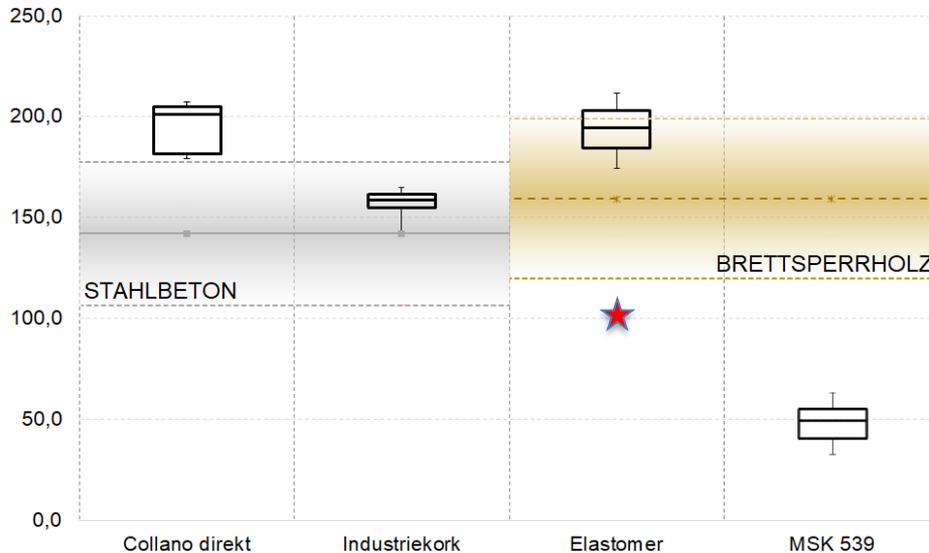


Quelle: HFA

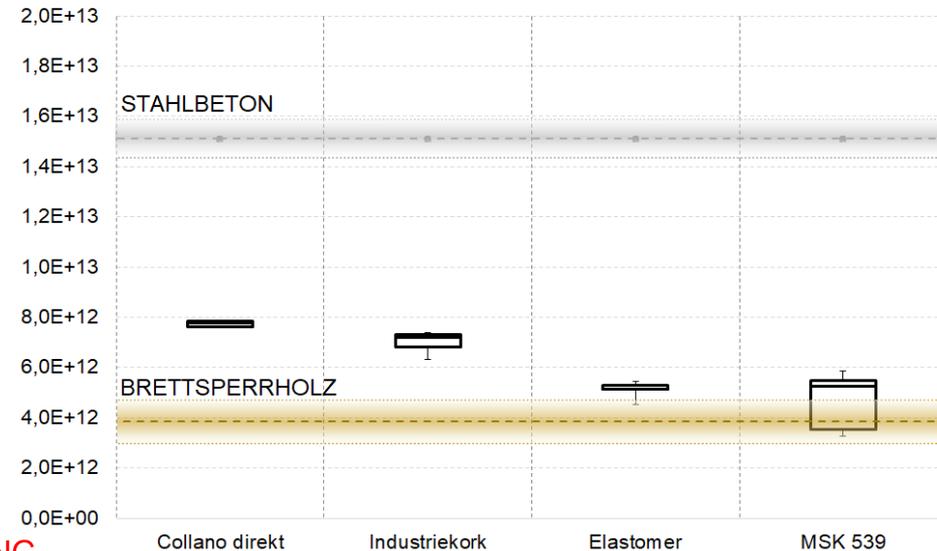
GEKLEBTE HBV-PROTOTYPEN

Ergebnisse Vier-Punkt-Biegeprüfung

maximale Traglast F_{sum} [kN]



Biegesteifigkeit EI [Nmm²]



BIEGEZUG-BRUCH HOLZ



SCHUBVERSAGEN KORK



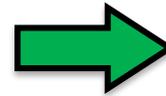
3x BIEGEZUGVERSAGEN HOLZ
2x FEHLVERKLEBUNG



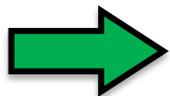
FEHLVERKLEBUNG

ZUSAMMENFASSUNG & SCHLUSSFOLGERUNGEN

- geklebte Fügetechnik kann für synth. Klebstoffe entwickelt werden mit:
 - Klebefugendicke (2-3 mm)
 - Spachtelprofil R3
 - Verklebung ohne Auflast
 - halbautomatische Klebstoffapplikation
 - **Viskosität niedrig bzw. mittel**
- hohe Tragfähigkeiten und Biegesteifigkeiten bei direkter Verklebung (für synthetische Klebstoffe)
- hohe Tragfähigkeiten und Biegesteifigkeiten bei Verklebung mit elastischer Zwischenschicht (wenn vollflächig!)



Applikationsmethode
perfektionieren &
automatisieren

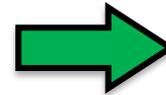


Applikationsmethode perfektionieren & automatisieren

ZUSAMMENFASSUNG & SCHLUSSFOLGERUNGEN

- Dauerhaftigkeit:

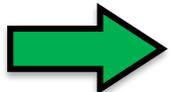
- synthetischer Klebstoff
- mineralischer Klebstoff



grundsätzlich tiefgreifende Untersuchungen notwendig

- akustische Eigenschaften:

- Aufbau mit elastischer Zwischenschicht günstig bei Luft- und Trittschallschutz
- ähnliches Verhalten der direkt verklebte Varianten & Industriekorkvariante
- Unterschiede erst im mittleren und oberen Frequenzbereich
- HBV-Decken verhalten sich bei Trittschallanregung wie STB-Decken
- HBV-Decken sind Leichtbaukonstruktionen
- günstige Eigenschaften bei Trittschalldämmung im tieffrequenten Bereich

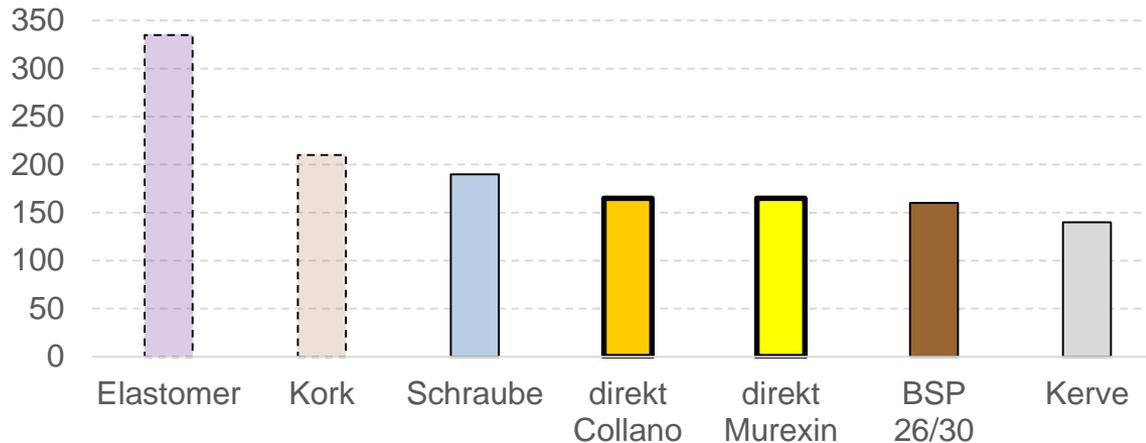


Zwischenschicht optimieren (dynamische Steifigkeit)

ZUSAMMENFASSUNG & SCHLUSSFOLGERUNGEN

- Wirtschaftlichkeit:

- direkt verklebte Variante preislich zw. Kerne und Schraube
- direkte verklebte Variante im mittleren Preissegment
- Variante mit Elastomerlager wesentlich teurer



Preis €/m²
8 m Spannweite

- Nachhaltigkeit:

- 20 cm STB-Decke: 90 kg CO₂-Äq/m²
- geklebte HBV-Decke: 46 kg CO₂-Äq/m²



halb so großer Beitrag zum Treibhausgaseffekt

ZUKUNFTSPOTENTIAL

- Verklebung ist Stand der Technik
- Vorteile des geklebten Verbundes:
 - trockene Bauweise
 - hohe Tragfähigkeit
 - komplette Vorfertigung → Verkürzung Bauzeit



- Optimierungspotential:
 - Beton → UHPC
 - Holz → z. B. Baubuche
 - Rippendecken

} schlankere Bauteile



- geklebter Holz-Beton-Verbund als Alternative im Massivbau?



Dipl.-Ing. Dr.techn. Christoph Hackspiel

Camillo Sitte Bautechnikum & Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik

c.hackspiel@bautechnikum.at

Tel. +43 676 924 97 55

www.bautechnikum.at

