

# Hybridbauten, das Beste von jedem Baustoff

**Prof. Dr. Andrea Frangi**

ETH Zürich, Institut für Baustatik und Konstruktion IBK

**14. Schweizer Betonforum: Gebäude neu denken!**

ETH Zürich, 19. Mai 2022

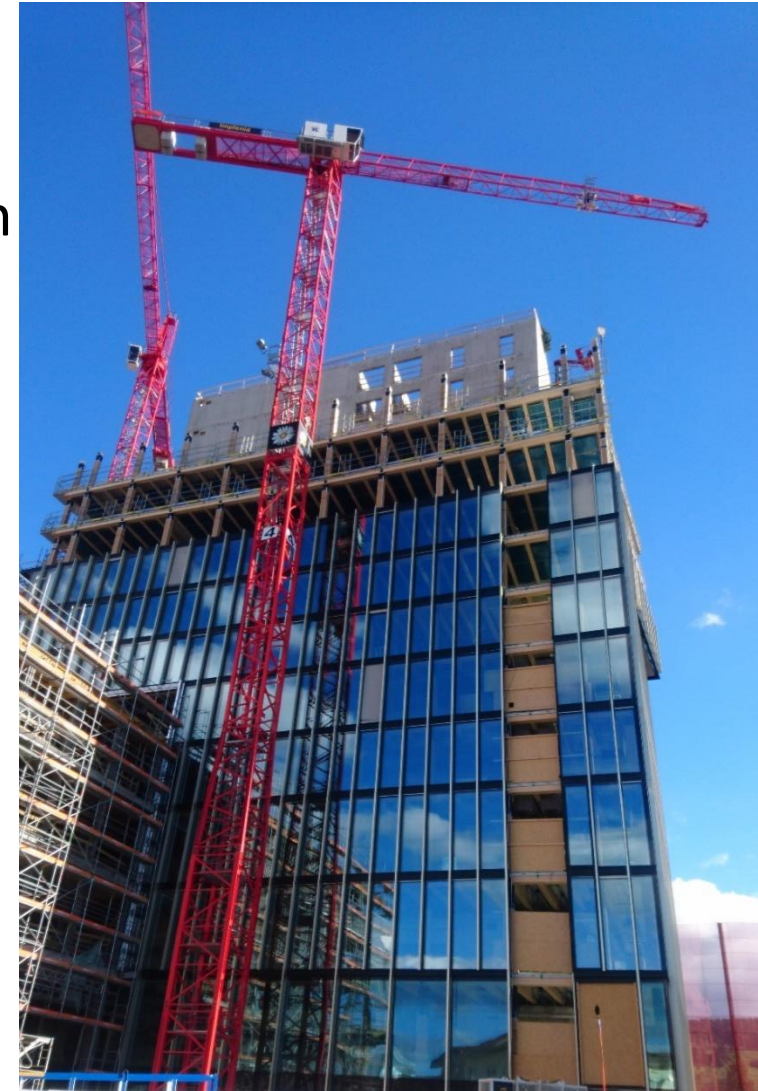
# Hybridbauten



# Hybridbauten

Der Hybridbau bietet die Chance:

- Die Innovation im Bauwesen zu fördern und die heutigen und zukünftigen technischen Innovationen optimal zu nutzen.
- Dank einer grösseren Palette von Baustoffen, die beim Hybridbau eingesetzt werden können, noch effizienter und nachhaltiger zu bauen.
- Die CO<sub>2</sub> – Intensität von Bau, Nutzung und Erneuerung eines Bauwerkes zu vermindern.



Risch Rotkreuz , Suurstoffi BF1, 60 m

# Anforderungen an Decken

- Platten-, Scheibenwirkung, Raumabschluss
- hoher Tragwiderstand + Steifigkeit  
(Verformungen, Schwingungen)
- geringes Gewicht
- einfache Leitungsführung
- rasche, witterungsunabhängige Herstellung
- Schallschutz
- Brandschutz



**Statik**



**Schallschutz**



**Ästhetik**

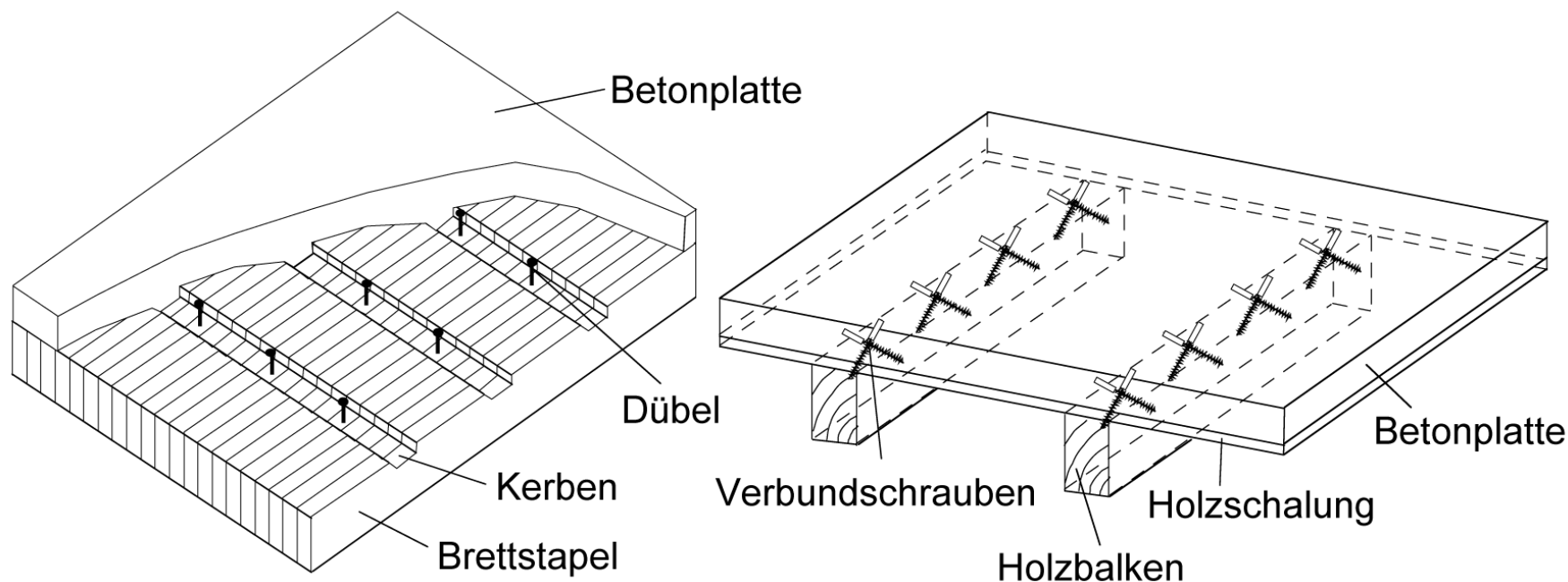


**Brandschutz**



# Holz-Beton Verbundbauweise

## Prinzipieller Aufbau



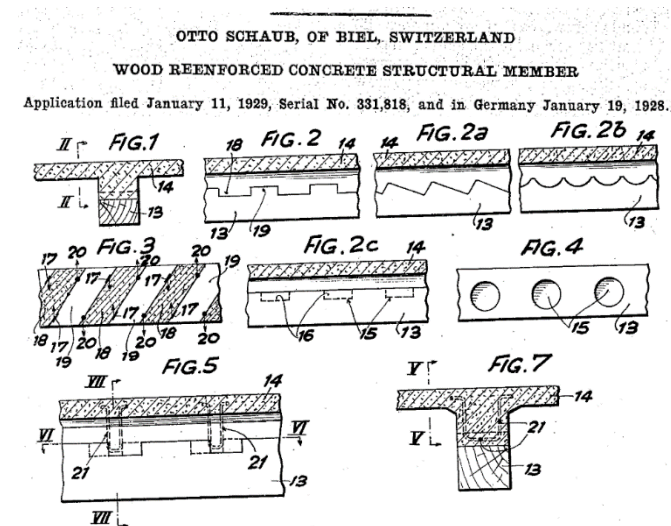
**Holz-Beton-Verbunddecken mit massiven flächigen Holzelementen**

**Holz-Beton-Verbunddecken mit Holzbalken**

# Holz-Beton Verbundbauweise

## Historisches

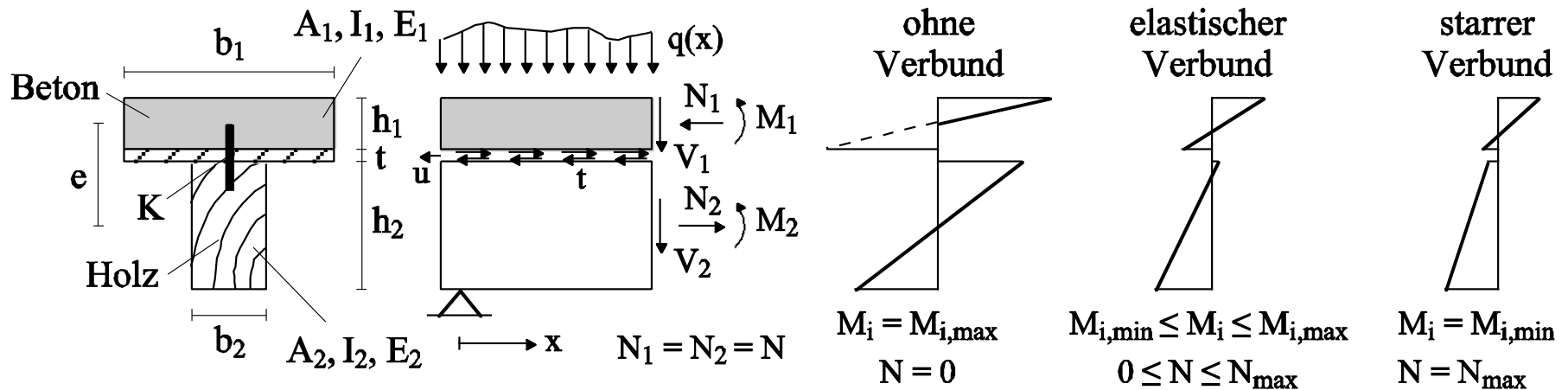
- Stahlknappheit während und nach 1. Weltkrieg
- 1922: Patent P. Müller: *Decke aus hochkantig stehenden Holzbohlen oder Holzbrettern und Betondeckschicht*
- 30er Jahre: Entwicklung von HBV-Brücken in den USA
- 1939: Patent O. Schaub: *Verbunddecke aus Holzrippen und Betonplatte*
  - als Verstärkung für Altbaudecken
- 50er Jahre: erste HBV Brücken in Australien und NZ
  
- Seit 80er wieder vermehrt Interesse an HBV:
  - ausführliche Forschung in Europa, viele Projekte in CH, A, D
  - erstmals auch als Neubau-Geschossdecken
  - in den letzten Jahren: Wiederentdeckung in Nordamerika (USA, CAN)



Schaub 1929

# Holz-Beton Verbundbauweise

## Theorie der Verbundquerschnitte – Nachgiebiger Verbund



Differentialgleichung:  
(Stüssi 1943)

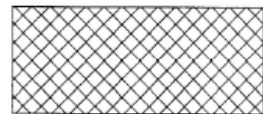
$$\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} - \kappa^2 \cdot k \cdot N(x) = -\frac{k \cdot e \cdot M(x)}{E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2}$$

$$\text{Mit } \kappa^2 = \frac{1}{E_1 \cdot A_1} + \frac{1}{E_2 \cdot A_2} + \frac{e^2}{E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2}$$

# Holz-Beton Verbundbauweise

## Vorteile

- Tragwiderstand
- Steifigkeit (Schwingungen, Verformungen)
- Brand- und Schallschutz
- Nachhaltigkeit

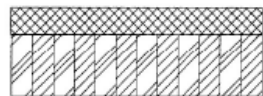


**Graue Energie:**

762 MJ/m<sup>2</sup>

**Treibhausgasemissionen:**

75.9 kg/m<sup>2</sup>



494 MJ/m<sup>2</sup>

40.4 kg/m<sup>2</sup>



**1 Tonne CO<sub>2</sub>**

Quelle: Lignatec 25/2011 & 26/2012,  
Lignum





Hochbau – entwurfsrelevante Grössen

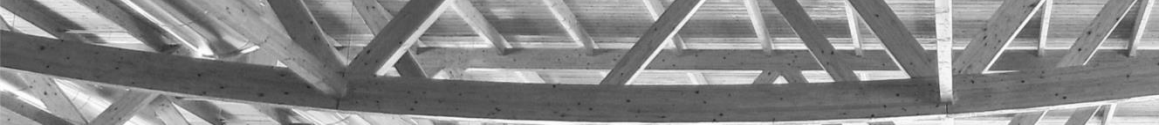
## Wiederholungen

### Bedeutung Decken

- Materialwahl
- Bau-/Montageverfahren
- Bauzeit
- Kosten

→ Optimierungspotential





# Risch Rotkreuz Suurstoffi S22

36 m Höhe





**Risch Rotkreuz**

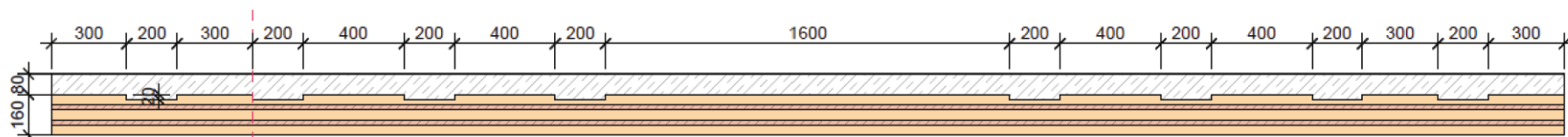
**Suurstoffi BF1**

60 m Höhe



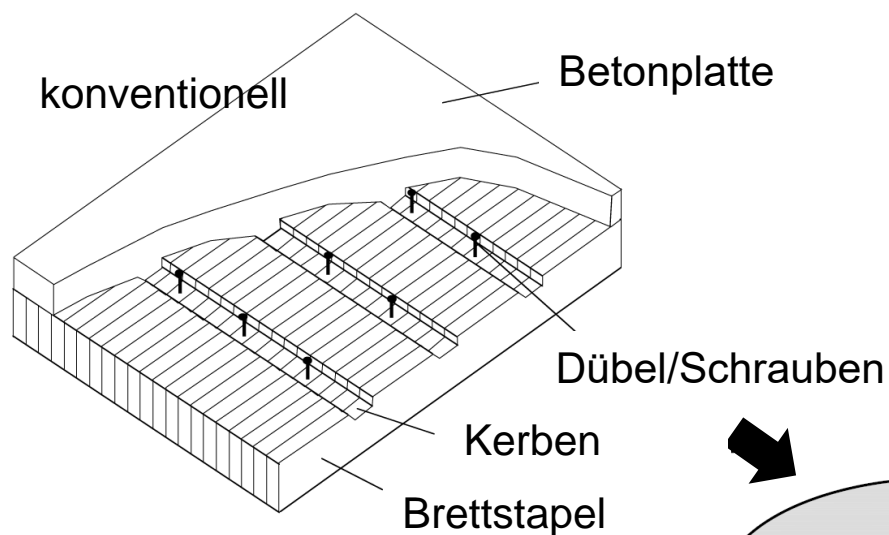
# Haut, Amsterdam

73 m Höhe

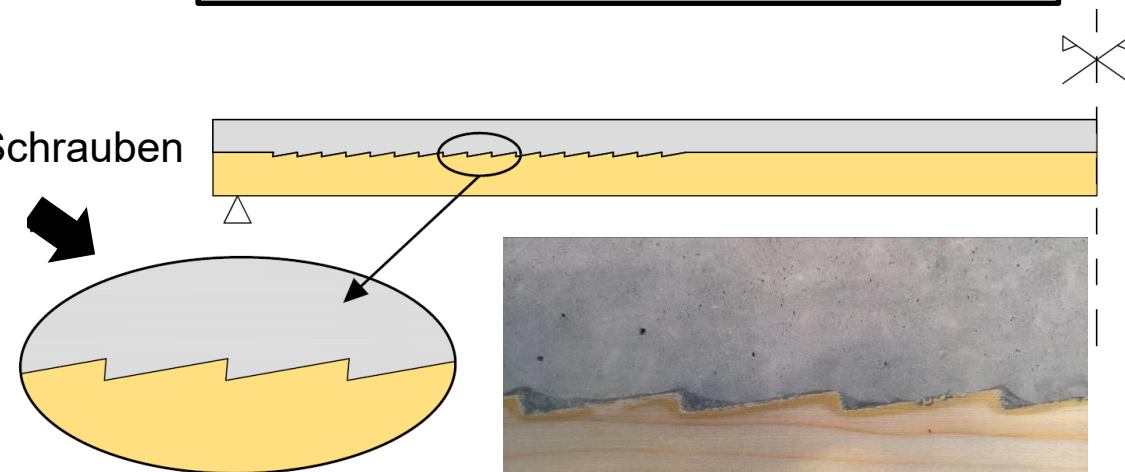




# Holz-Beton-Verbunddecke mit Mikrokerben



Optimierung von Leistung und  
Produktionsprozessen von HBV-Decken  
mit Fichten-Brettstapel

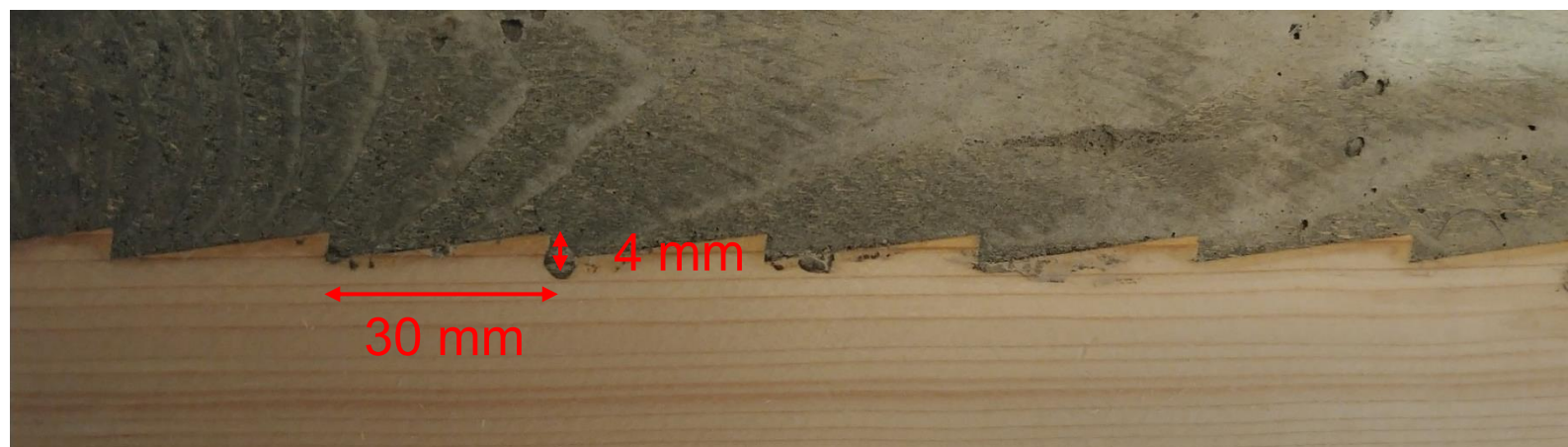


## Mikrokerben

Kontinuierliche Schubübertragung durch  
Verzahnung mit Mikrokerben → keine  
zusätzlichen Verbindungsmittel nötig



# Holz-Beton-Verbunddecke mit Mikrokerben



# Holz-Beton-Verbunddecke mit Mikrokerben



**Doktorarbeit Katharina Müller, 2020**

[Timber-concrete composite slabs with micro-notches](#)



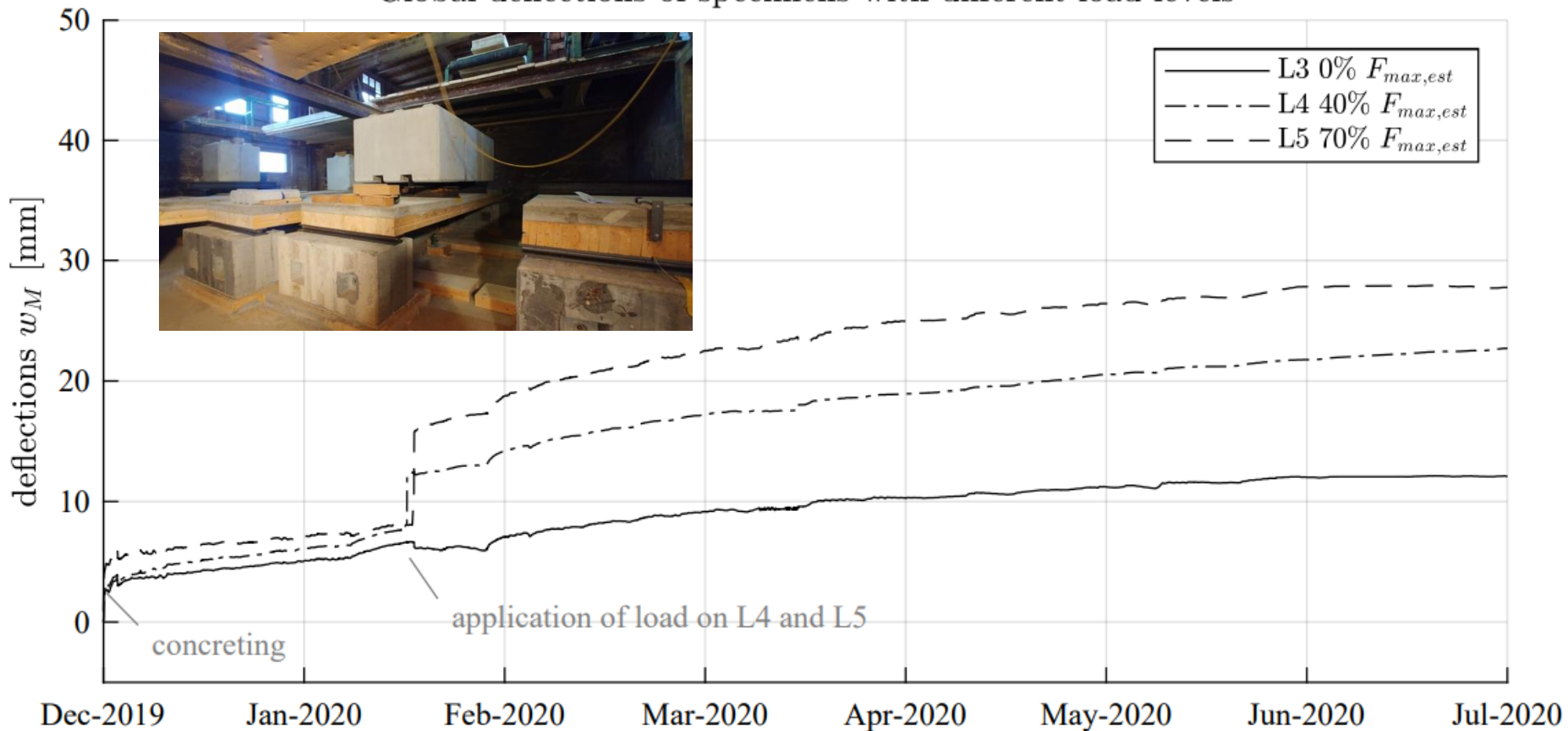
# Holz-Beton-Verbunddecke mit Mikrokerben



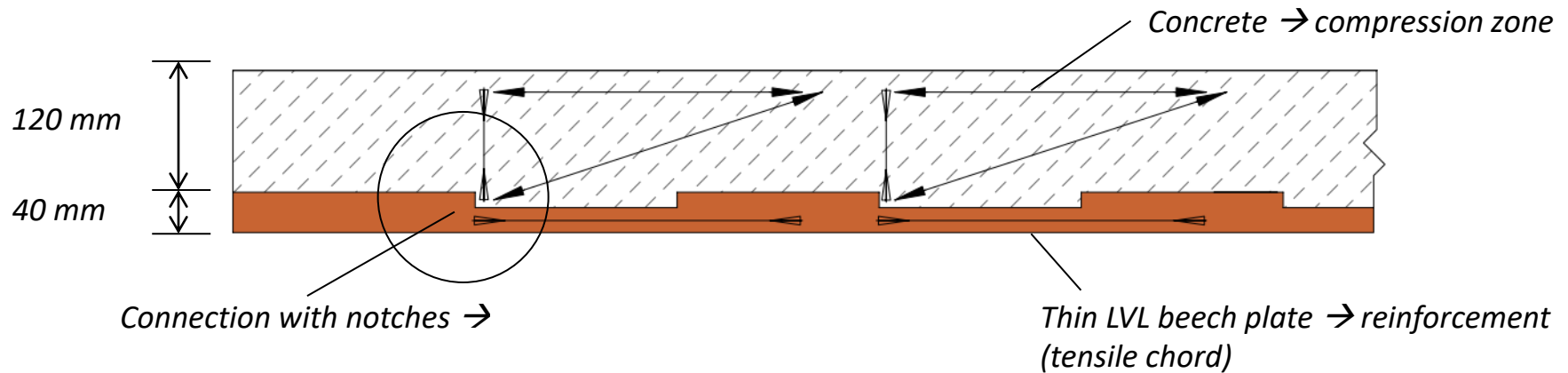
# Holz-Beton-Verbunddecke mit Mikrokerben

## Monitoring Durchbiegungen

Global deflections of specimens with different load levels



# Holz-Beton-Verbunddecke aus Buchenfurnierschichtholz



- Buchenplatte als Schalung und Bewehrung (40-60mm)
- Verbund als mechanische Verzahnung (15mm tiefe Kerben)
- Betonschicht (120-160mm)
  - Schwindbewehrung
  - evtl. nur mit Stahlfasern bewehrt

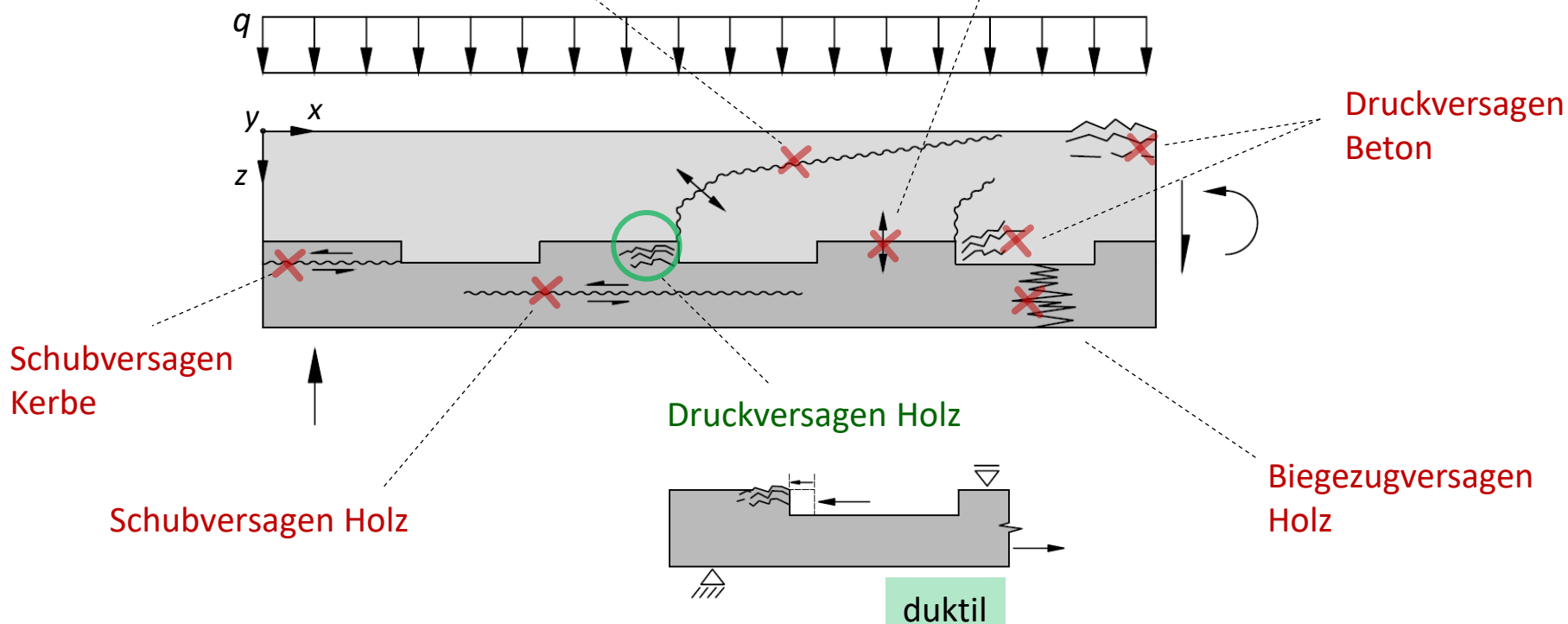
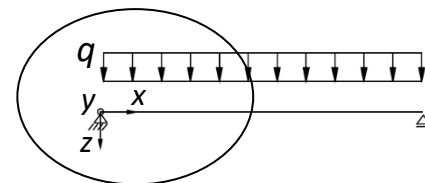


# Holz-Beton-Verbunddecke aus Buchenfurnierschichtholz

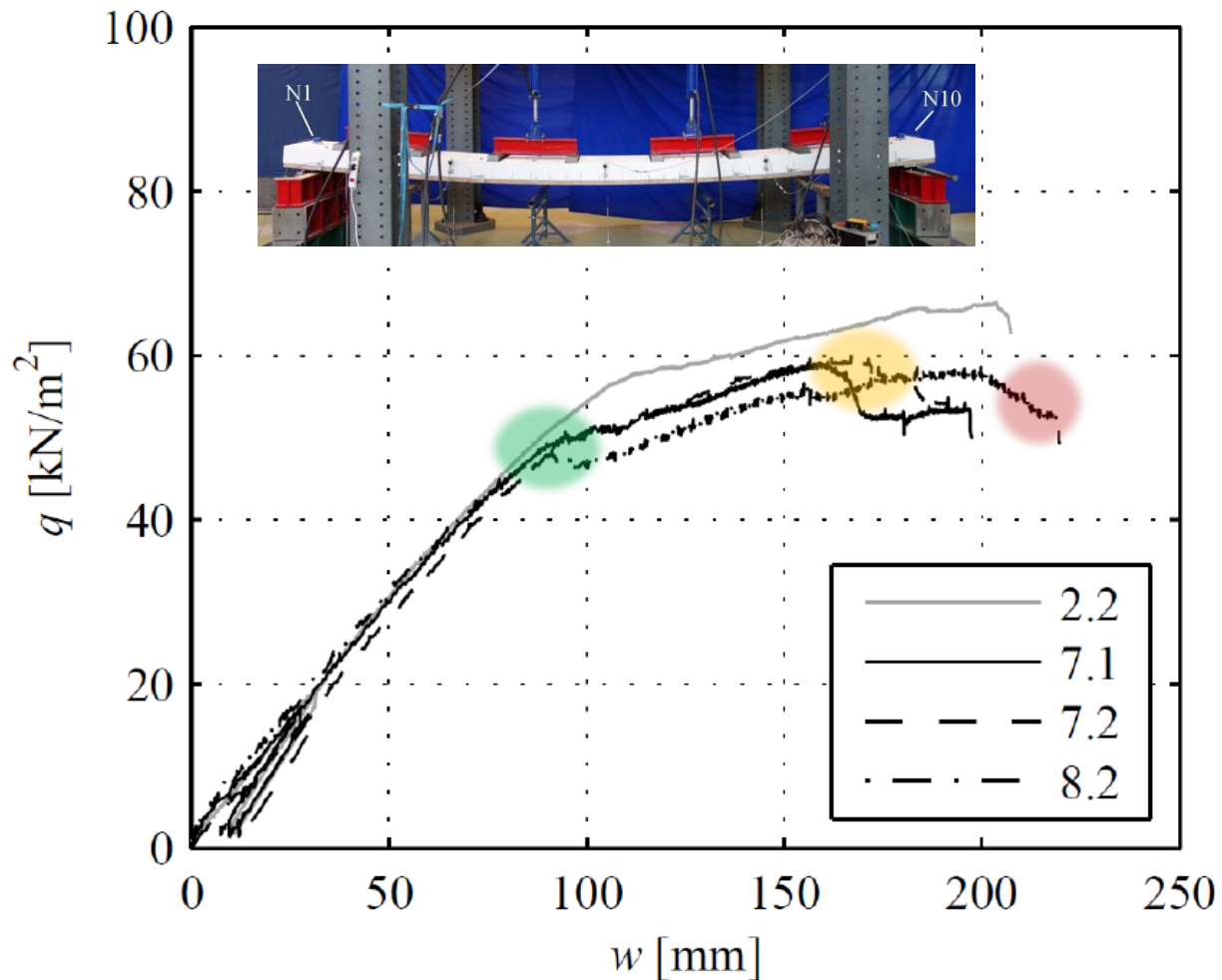
## Versagensarten

Schubversagen Beton

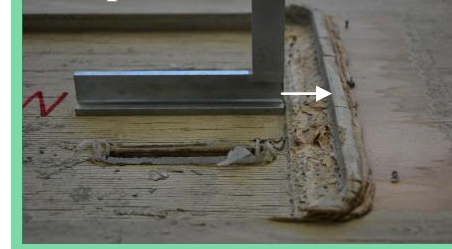
Gap opening



# Holz duktil wie Stahl



compressive failure



compressive failure



tensile-bending failure

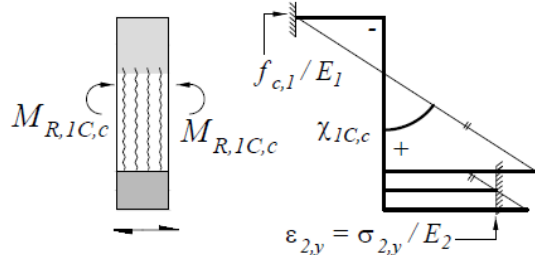


Doktorarbeit Lorenzo Boccadoro, 2016

[Timber-concrete composite slabs made of beech LVL with notched connection](#)

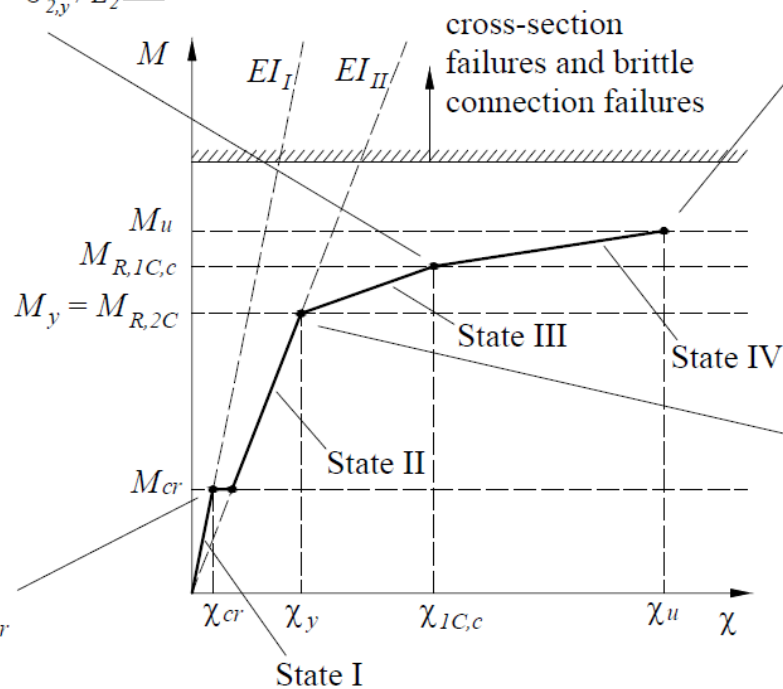
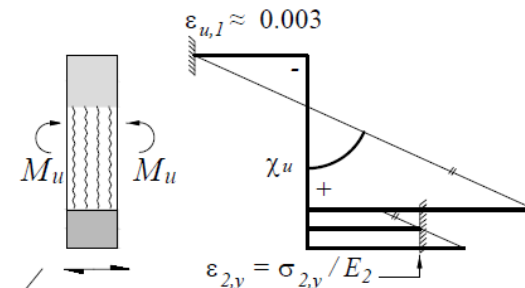
# Holz-Beton-Verbunddecke aus Buchenfurnierschichtholz

1C,c: concrete strength

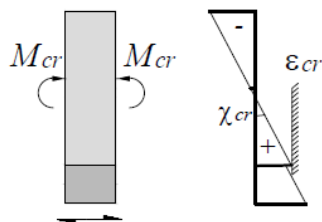


Berechnungsmodell

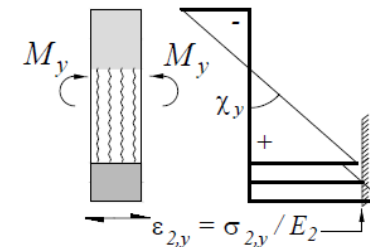
u: ultimate failure



cr: concrete cracking



y: connection yielding



$$\sigma_{2,y} = \sum T_{y,Ni} / A_2$$



# ETH House of Natural Resources



Copyright: ETH Zürich / Marco Carocari

Pilothaus als zukunftsweisendes grossmasstäbliches und transdisziplinäres Forschungs-, Lehr- und Demonstrationsobjekt mit innovativen Technologien und Bauteilen aus Laubholz



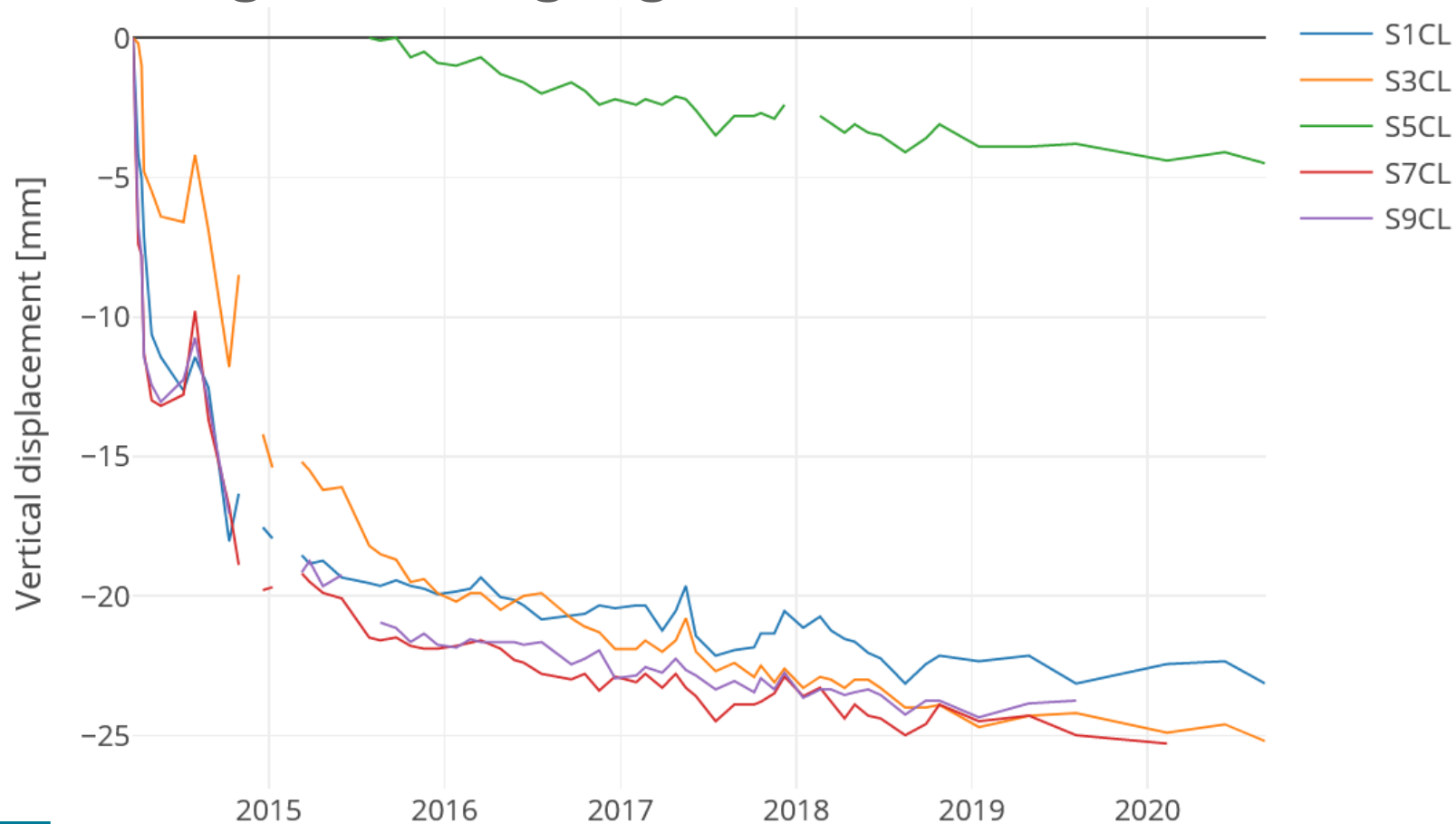






# Holz-Beton-Verbunddecke aus Buchenfurnierschichtholz

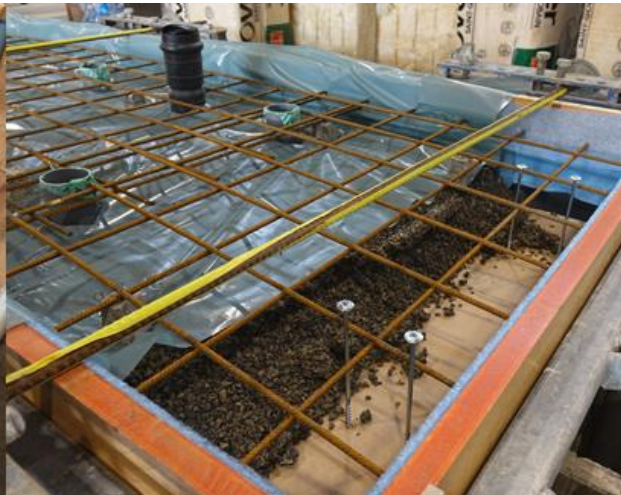
## Monitoring Durchbiegungen



Doktorarbeit Claude Leyder, 2018 [Monitoring-Based Performance Assessment of an Innovative Timber-Hybrid Building](#)



# Biaxiale Holz-Beton-Verbunddecke aus Buchenfurnierschichtholz

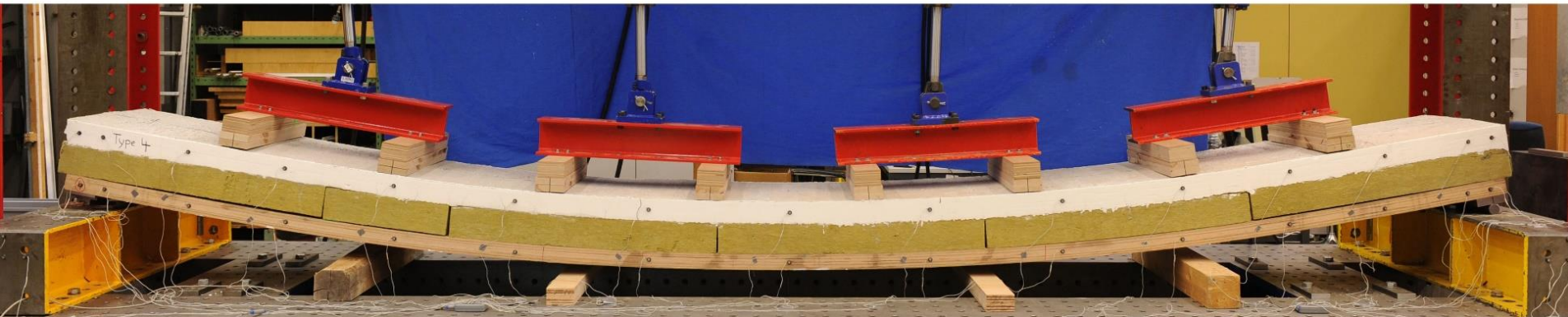
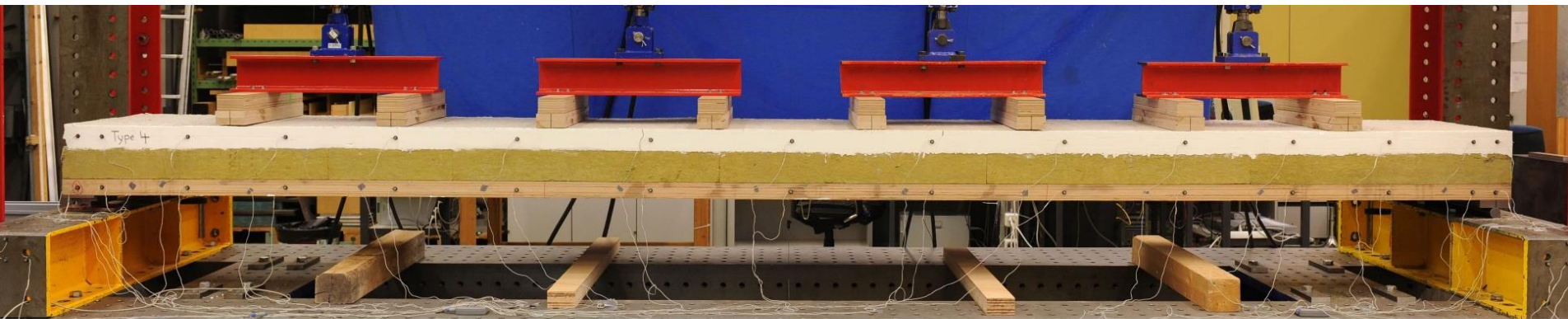


*Buche-Furnierschichtholzplatte  
Stahlrohre als Schubverbinder*

*Schüttung als Zwischenschicht  
wählbar 150 bis 1500kg/m<sup>3</sup>, z.T. RF1*

*Betonschicht im Werk  
Lagerung für Schwindverformungen*

# Biaxiale Holz-Beton-Verbunddecke aus Buchenfurnierschichtholz



Doktorarbeit Benjamin Kreis, 2021 [Two-Way Spanning Timber-Concrete Composite Slabs made of Beech Laminated Veneer Lumber with Steel Tube Connection](#)

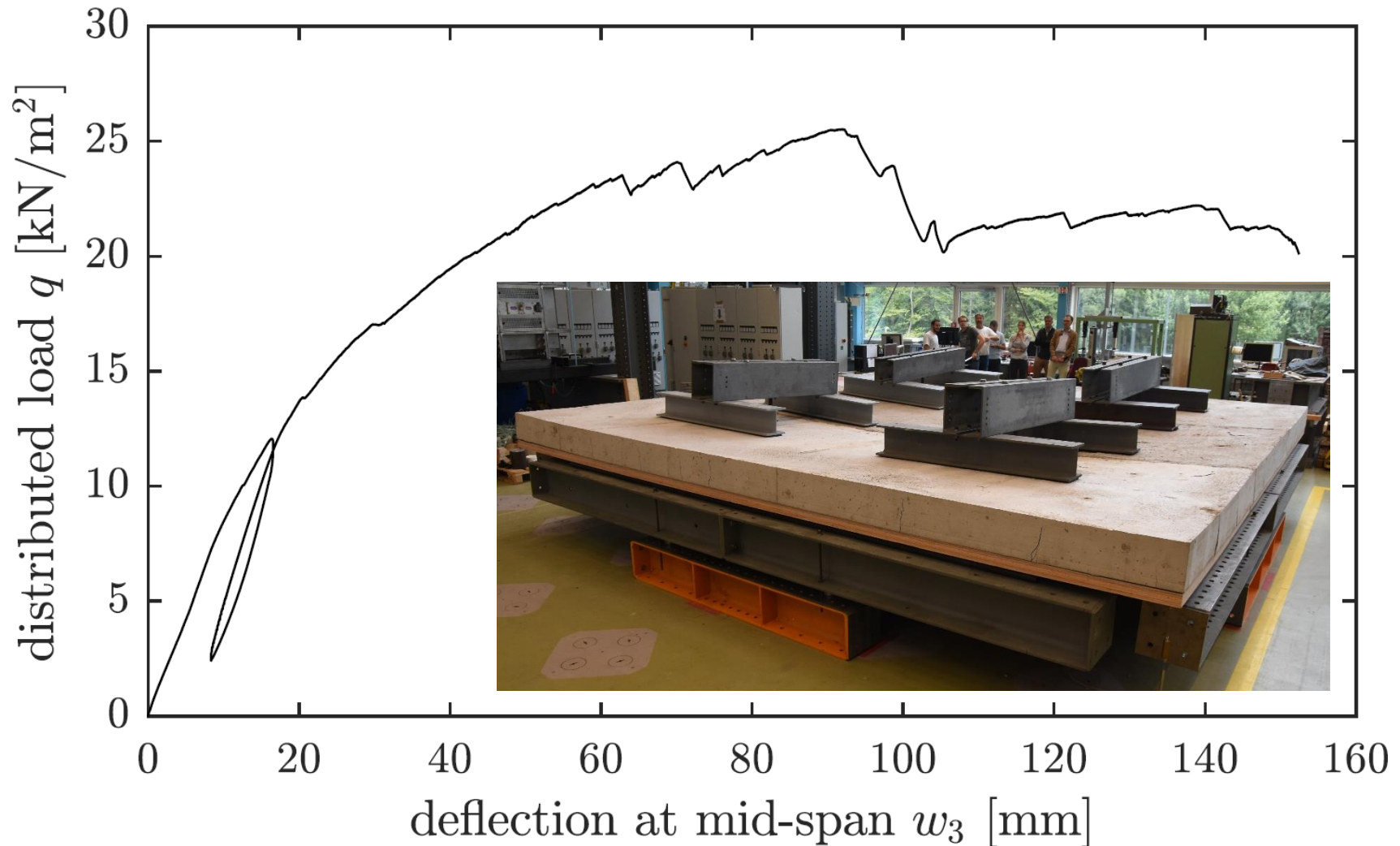




**Biaxiale Holz-Beton-Verbunddecke aus  
Buchenfurnierschichtholz**



# Biaxiale Holz-Beton-Verbunddecke aus Buchenfurnierschichtholz



# Hochhaus Pi, Zug

80 m Höhe





# Hochhaus Rocket, Winterthur

100 m Höhe

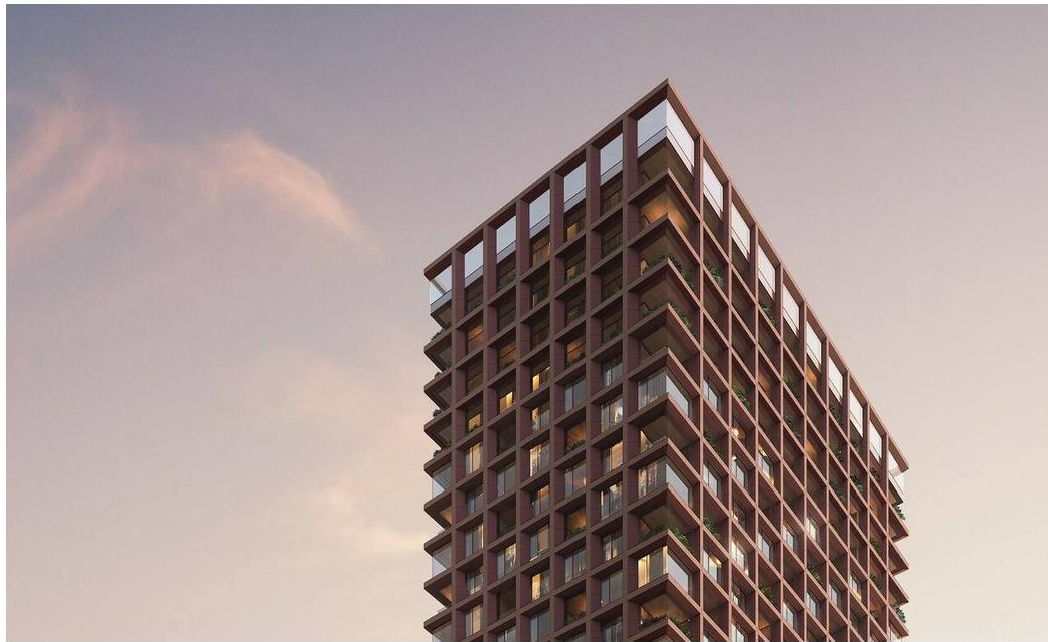


Image: Schmidt Hammer Lassen

## The world's tallest wooden skyscraper is being built in Switzerland



Zürich 4°/16°

MITTWOCH,  
27. APRIL 2022

Schweiz 9  
Kein Knast für einen  
notorischen Stalker



Schweiz 11  
Berset wehrt sich für  
den Schweizer Film



Sport 20  
4:3 - ManCity gewinnt  
Spektakel gegen Real



Aus der App

Beliebt 23

Das sind die besten  
Schweizer Pressefotos

Kontrovers 17

Charlènes Beichtvater:  
Hatte er Kinderpornos?

## So mächtig wird Musk durch den Twitter-Kauf

ZÜRICH. Elon Musk, Chef von Tesla und SpaceX, wird Alleinbesitzer der Social-Media-Plattform Twitter. Damit wird er letztlich allein über die Art und Weise entscheiden können, wie sich Meinungsmacher aller Welt dort austauschen können. Vor allem aber, so prophezeien Experten, schafft sich Milliardär Musk ein kaum regulierbares Instrument, um Aktienurse zu beeinflussen. **Seiten 2 und 3**

## Amis begeistert: Schweiz bekommt höchstes Holzhaus

WINTERTHUR. 100 Meter hoch soll es werden: das Hochhaus, das bis 2026 auf dem Winterthurer Areal Lockstadt für die Ina Invest Holding AG errichtet werden soll. Besonders ist nicht nur seine Höhe, sondern sein Baumaterial: Holz. Es wäre, wenn bis dahin nicht noch ein anderer Wälderzuzüchter dem Rekord knackt, das höchste Holzhochhaus der Welt. Und es erregt jetzt schon international Aufmerksamkeit. CNN und Fachmagazine in den USA zeigen sich beeindruckt. **Seite 9**



Ein Wälderzuzüchter aus Holz: Bis 2026 soll er Teil von Winterthurs Skyline sein. ARCHITECTURSTUDIO/SCHEITLHAMMER/LEBEN/RECHTERTS



**FAGUS**  
SUISSE

**B 3**

SCHNETZER PUSKAS  
INGENIEURE

**BOLTSHAUSER**  
ARCHITEKTEN



Zwhatt, Regensdorf  
75 m Höhe, 2023



## Holz-Beton-Verbunddecke mit Buchen-Stabschichtholz

- HBV Deckenelemente  
Mockup von Hochhaus  
Zwhatt

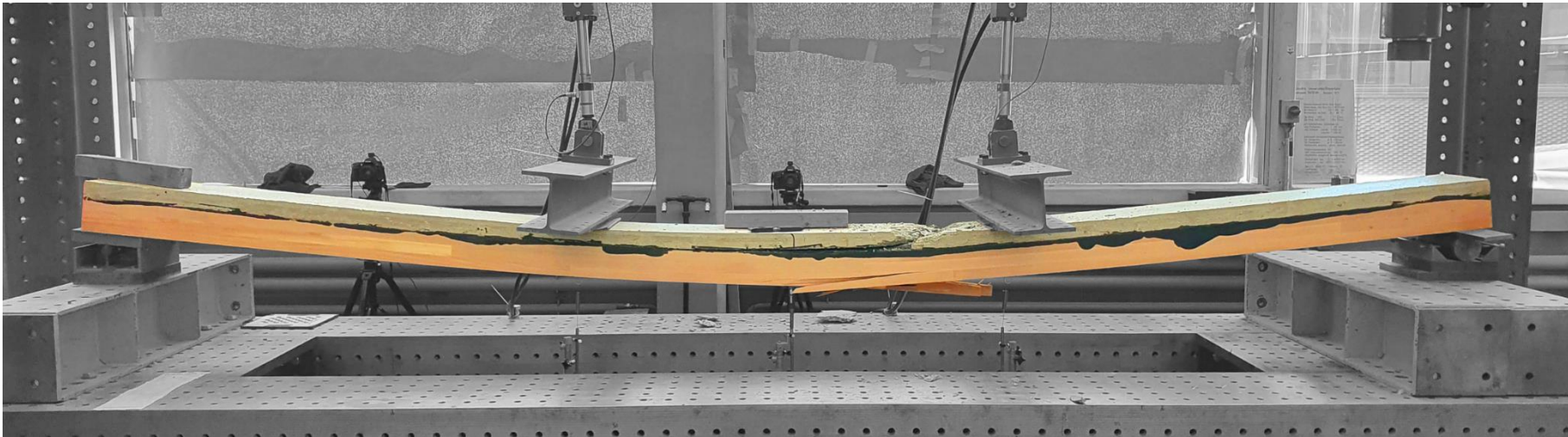




# Verklebte Holz-Beton- und Holz-Polymerbeton- Verbunddecke mit Buchen-Stabschichtholz

**FAGUS**  
SUISSE

 **Sika**  
BUILDING TRUST



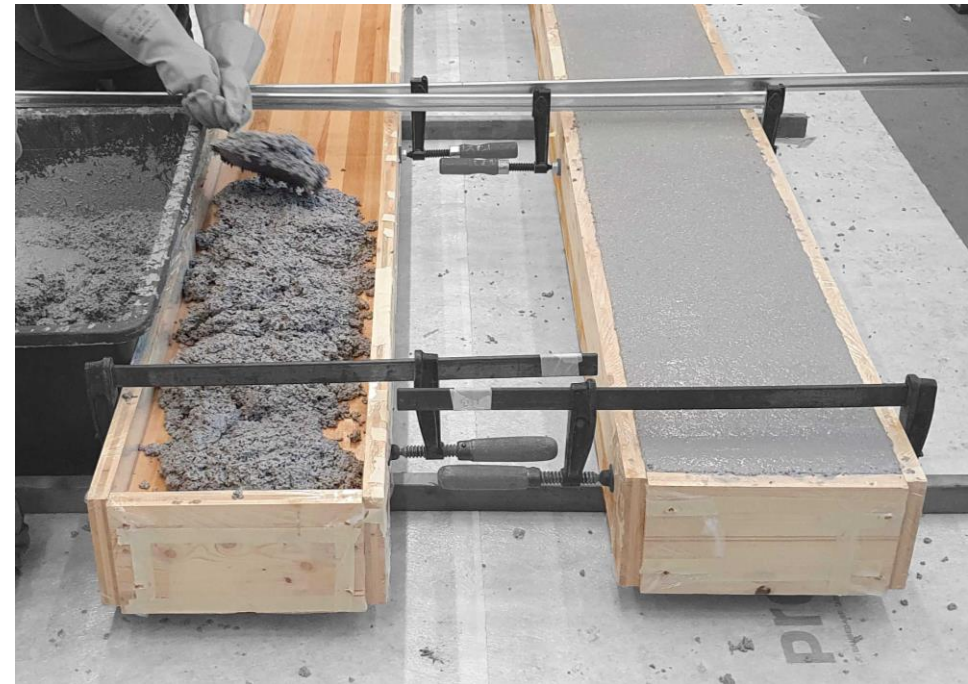
- **Klebstoff für Holz-Beton «nass-in-nass»**
- **Alternative zu Beton: Polymerbeton, direkter Klebeverbund**
- **Verwendung von Schweizer Buchenholz**



# Verklebte Holz-Beton- und Holz-Polymerbeton- Verbunddecke mit Buchen-Stabschichtholz

**FAGUS**  
SUISSE

**BUILDING TRUST** 



Polymerbeton =  
Füllstoff + Matrix + Zuschlagsstoff

# Verklebte Holz-Beton- und Holz-Polymerbeton- Verbunddecke mit Buchen-Stabschichtholz

**FAGUS**  
SUISSE

**BUILDING TRUST** 





# IBK Monitoring Projekte (<https://www.monitoring.ibk.ethz.ch>)



ETH House of Natural Resources –  
Chatzi, Frangi (Photo: Marco  
Carocari/ETH Zurich)



Elephant house, Zoo Zuerich  
– Chatzi (Photo: Interim,  
Group Chatzi)



SBB Brücke Sempach – Chatzi  
(Photo: Interim Report ETH  
Zürich)



TCC slab with micro-notches –  
Frangi (Sidler SHARK®)



Project Zwhatt, Regensdorf  
– Frangi (Photo: Interim)



Project Innosuisse – Frangi  
(Photo: Interim Report ETH  
Zürich)



## Hybridbauten

- Die Kombination von Baustoffen wie Beton und Holz insbesondere in mehrgeschossigem Bauten ist effizient und vielversprechend.
- Der Hybridbau kann bzw. soll sparsam mit unseren knappen Ressourcen umgehen und die CO<sub>2</sub> Intensität von Bau, Nutzung und Erneuerung eines Bauwerkes vermindern.



Ascent, Milwaukee, 86.6 m