Treteknisk

# Innovative trekonstruksjoner kombinert med andre materialer

Stine Lønbro Bertelsen

TEKNA Frokostseminar

28. oktober 2019

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# Program

- Hvorfor kombinere materialer?
- Eksempler av kombinasjoner av tre med andre materialer
  - Tre og stål
  - Tre og betong
- Nytt EU-innovasjonsprosjekt med bygningssystem i tre (Build-in-Wood)

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# Norsk Treteknisk Institutt

- Bransjeinstitutt for norsk treindustri
- Frittstående forskningsforening eid av industrien
- 130 medlemsbedrifter innen trelast, trehus, limtre, takstol, trevarer, konsulenter og leverandører
- Etablert 1949
- 34 medarbeidere
- Ingen offentlig støtte utenom prosjekter

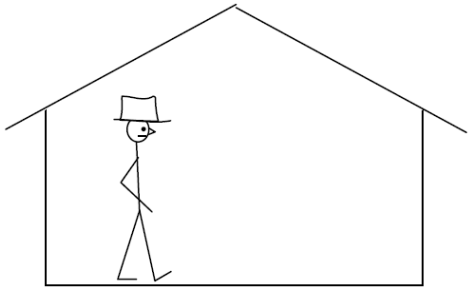
Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# Hvorfor kombinere materialer?

- Tre er et lett materiale
  - Problematikker rundt vibrasjoner og akustikk…
- Lav E-modul / bøyestivhet
- Høy variasjon i mekaniske egenskaper (mellom ulike treslag men også i ulike treslag)
- Lav duktilitet
- Holdbarhet
- Knutepunkter (økonomi, styrke og stivhet)

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

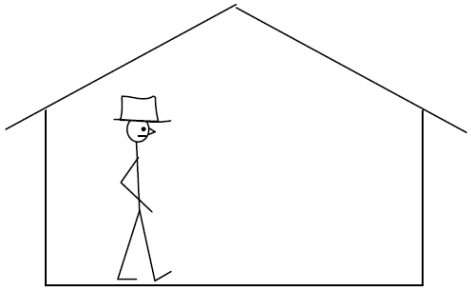
# Hvorfor kombinere materialer?

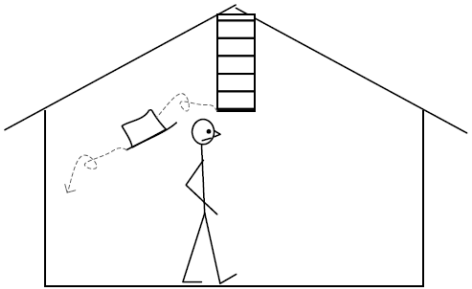


*Illustrasjon: Roberto Crocetti*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# Hvorfor kombinere materialer?

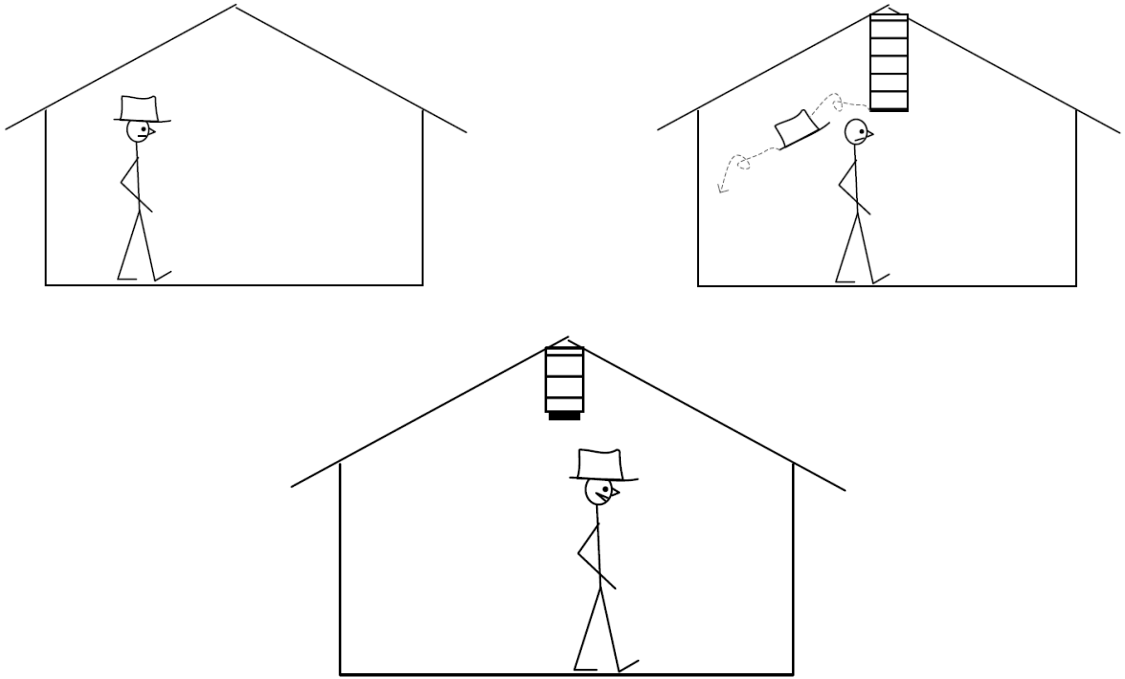




*Illustrasjon: Roberto Crocetti*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# Hvorfor kombinere materialer?



*Illustrasjon: Roberto Crocetti*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# Materialeffektivitet

| **Material** | Strength $f$ [MPa] | Density $\rho$ [kg/m$^3$] | Young's modul $E$ [GPa] | Efficiency ratio for tension/comp (1) $f/\rho$ | Efficiency ratio for compression (also considering buckling) $(E/\rho)^{1/3}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **Softwood** | 20-30 | 350 - 450 | 11-13 | 44 – 85 | 3 – 3.3 |
| **Carbon steel** | 235 - 355 | 7800 | 210 | 30 – 45 | 3 |
| **Concrete** | 30 - 50 | 2500 | 30 | 1 – 2 (2) | 2.3 |
| **CRFP (carbon fibres)** | 500 - 1400 | 1600 | 70 - 300 | 300 – 900 (3) | 5 – 6 |

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# Tre og karbonfiber

- Et veldig effektivt materiale!

*Bilder: Brol & Dawczynski & Gòrski & Krzywòn (2013), teijn.com, Yusof & Saleh (2010)*

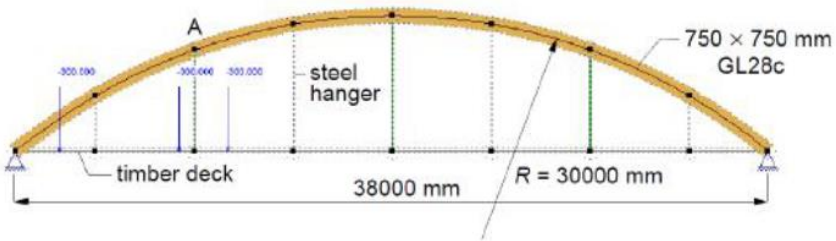
Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# **Tre og stål** - Bru i Haninge

- «Utvidet» buebro
- Tre i dekket, CL28c i buen, ståloppheng til opptak av strekk

  *Minimerer forskydning og bøyemoment*

  *Dermed mindre tverrsnitt i trevirke*



*Bilder: Roberto Crocetti, tungelstadailyphoto*

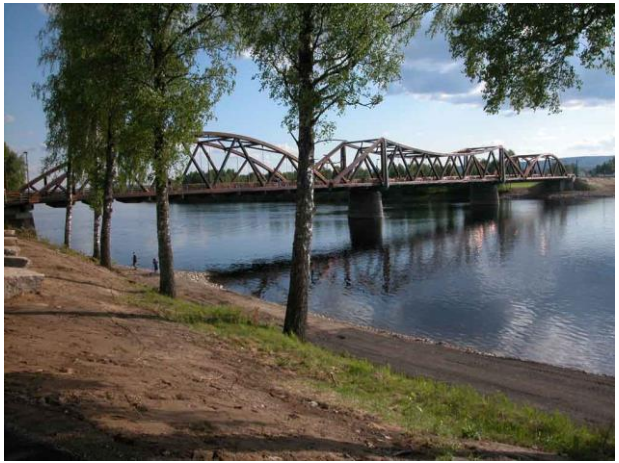
Kompetansesenter for tre
Treteknisk

NORSK TRETEKNISK INSTITUTT

# Tre og stål - Flisa Bru

- 197 m lang, 70 m spenn
- Fagverkkonstruksjon – tidligere i stål

  Grunnet høy pris ble den nye bruen erstattet av en trebru, basert på utseendet til den tidligere bruen

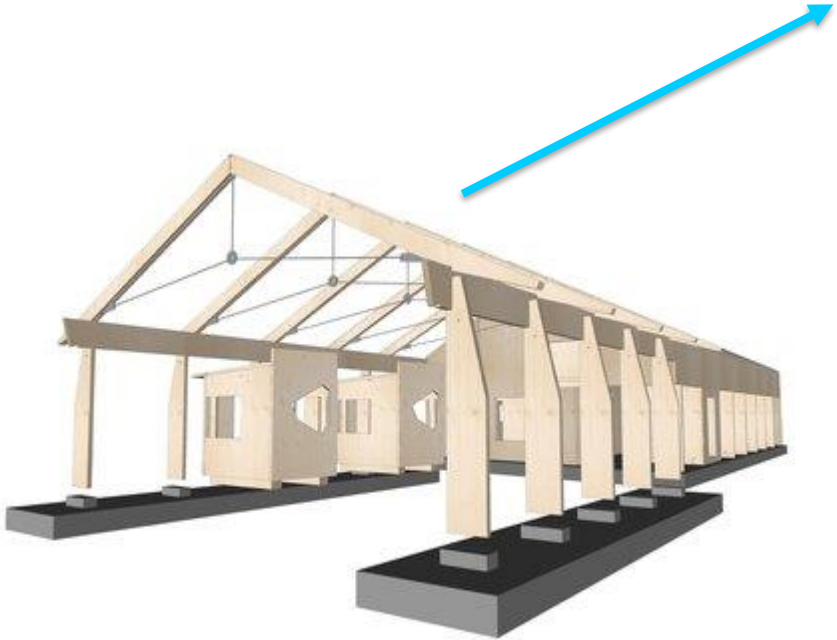


*Bilder: Wikipedia, Plan Arkitekter*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# **Tre og stål** i bygg

- Borås Zoo, Sverige (2015)



*Bilder: Landström Arkitekter, Roberto Crocetti*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# **Tre og stål** i bygg

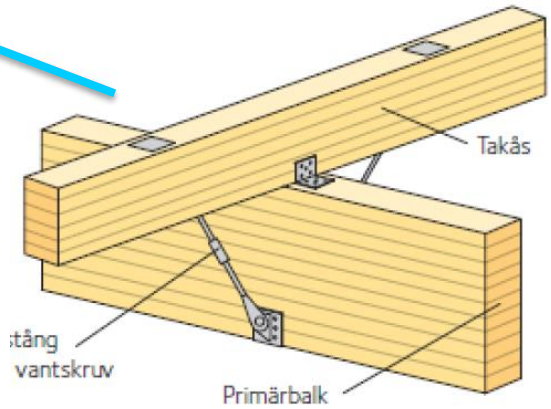
- Tre-stål hybrid fagverk

*Bilde: WiEHAG Timber Construction*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# **Tre og stål** i bygg

- Avstiving av trykksiden i buekonstruksjon




*Bilder: Roberto Crocetti*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# Optimal bruk av materialer

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# **Tre og betong** (og stål)

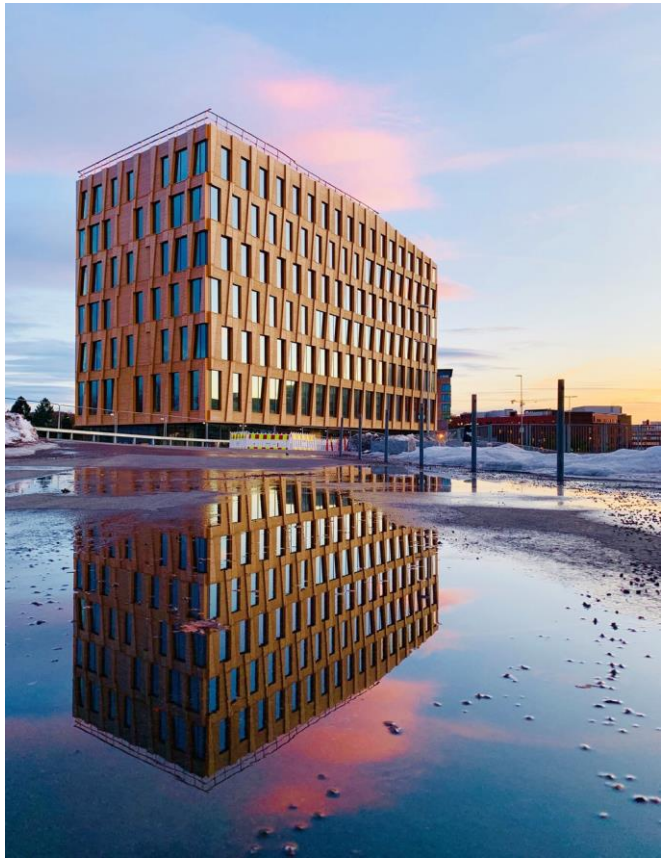
- Brock Commons (Canada)
- Betong kjerne, stål i knutepunkter

*Bilder: Think Wood*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

NORSK TRETEKNISK INSTITUTT

# **Tre og betong** – Valle Wood

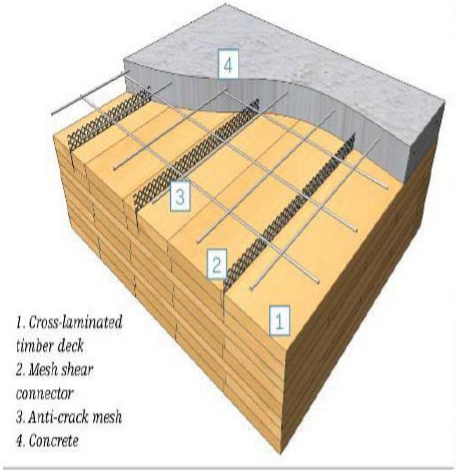


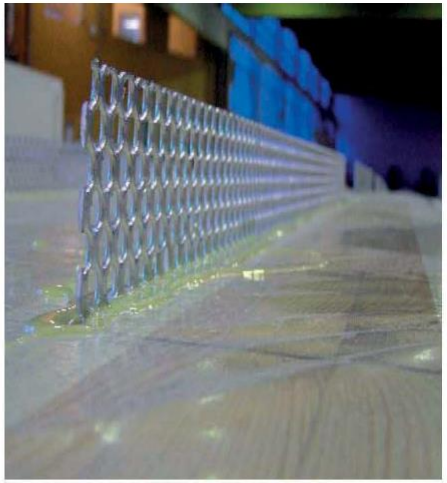
*Bilder: OsloTre, Lund og Slaatto Arkitekter*

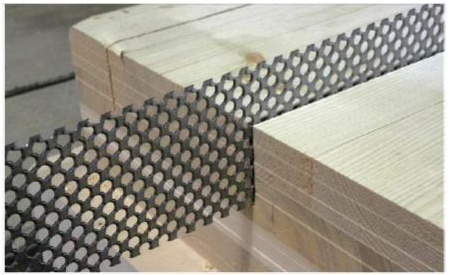
Kompetansesenter for tre
Treteknisk

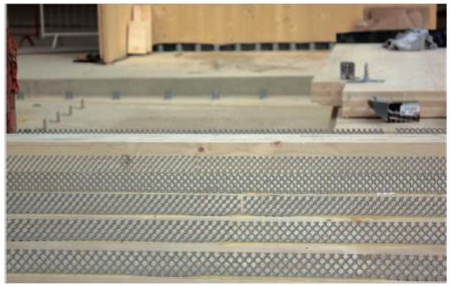
# **Tre og betong** – Valle Wood

- Noen fordeler
  - Høy samvirkegrad
- Noen ulemper
  - Høyere tilleggskostnader
  - Leverandøravhengig





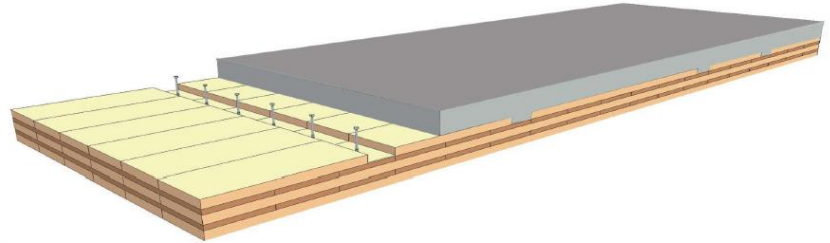


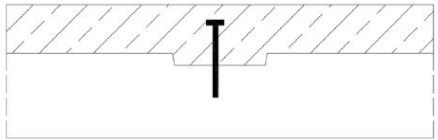
*Bilder: OsloTre*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# **Tre og betong** – Valle Wood

- Noen fordeler
  - Mindre enn 50% av kostnadene
  - Enklere montasje
  - Mer robust- enklere støpejobb
- Noen ulemper
  - Ca. 10% lavere samvirkegrad





*Bilder: OsloTre*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

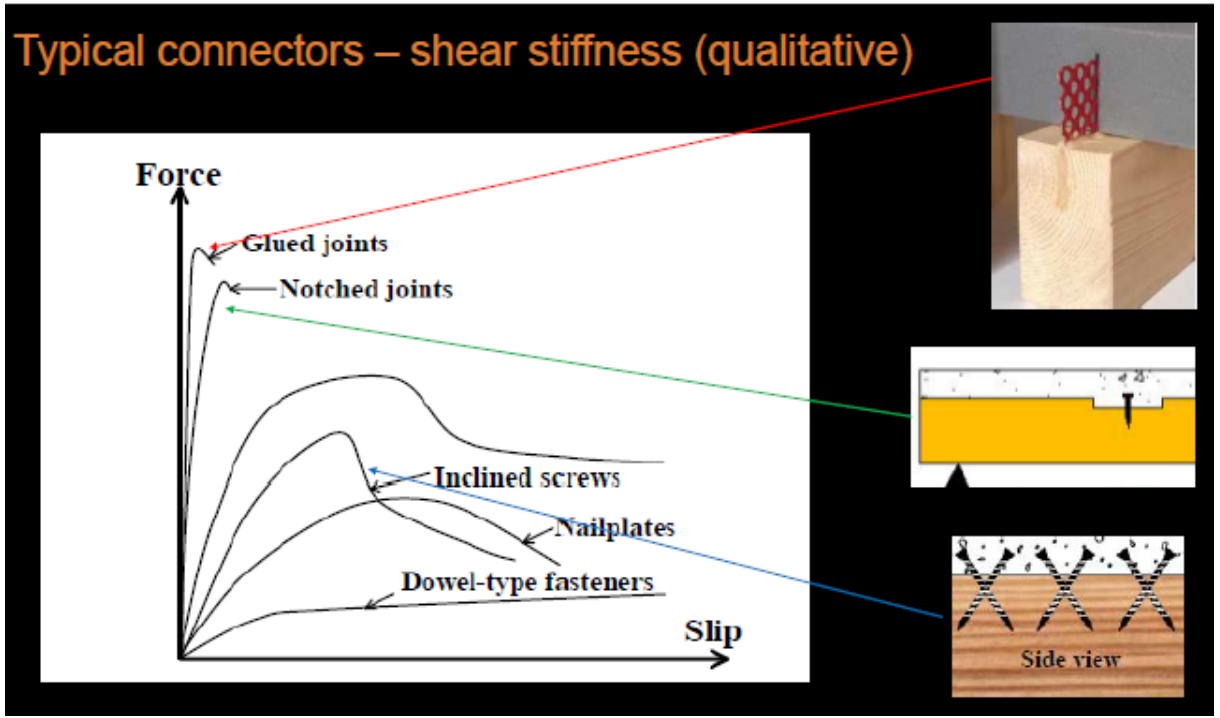
# **Tre og betong** – Valle Wood

- Noen fordeler
  - Mindre en
  - Enklere m
  - Mer robus
- Noen ulempe
  - Ca. 10% la

*Bilder: OsloTre*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# Samvirke ml. tre og betong




*Bilder: Roberto Crocetti*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

NORSK TRETEKNISK INSTITUTT

# Samvirke ml. tre og betong

- Resultater fra testing viser at liming av forbindelse mellom tre og betong er veldig effektiv
- Det kan oppnås høyere bøyestivhet med lim sammenlignet med mekaniske festemidler
- Ved bruk av lett betong er det mulighet for å spare deler av egenvektbelastning og få plass til å heve den påførte belastningen.
- Den tette forbindelsen har økt effekt til påvirkning av betongkrymping

August 2019

Freitag, 16. August 2019 — Die Dritte Seite — Nummer 33 · Holz-Zentralblatt · Seite 715

## Neue Wege im Holz-Beton-Verbund aufgezeigt

Holzforschung Austria stellt Forschungsstand am geklebten Verbund von Holz und Beton für leistungsstarke Deckenelemente vor

Von Dr. Christoph Hackspiel*, Wien

**Größer, höher, weiter, wirtschaftlicher – gerade in den letzten Jahren hat der moderne Holzbau dank der Entwicklung innovativer Produkte auch und gerade im urbanen Raum bestehende traditionelle Anwendungsgrenzen durchbrochen. Die Holz-Beton-Verbundbauweise stellt für Deckensysteme dabei ein durchaus vorteilhaftes System dar, da größere Spannweiten bei vergleichsweise relativ schlanken Bauhöhen überbrückt werden können. Bestehende Verbundsysteme verwenden jedoch meist Kerven, Schrauben oder eingeklebte Bleche für die Schubkraftübertragung, welche ihrerseits kosten- und arbeitsintensiv in ihrer Herstellung sind.**

Um dieser Problemstellung konstruktiv zu begegnen, wurde an der Holzforschung Austria eine neue leistungsfähige geklebte Fügetechnik entwickelt. Im Mittelpunkt eines Forschungsprojektes, welches gemeinsam mit der Vereinigung der österreichischen Zementindustrie (VÖZ) im Rahmen eines Kooperationsnahbers der Austrian Cooperative Research (ACR) betrieben wurde, stand die Idee Holz und Beton dauerhaft zu einem Deckenelement zu verkleben. Das Projekt wurde durch Mittel des Bundesministeriums für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (BMDW) gefördert und durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) abgewickelt.

Die direkte Verklebung der beiden Materialien stand dabei zunächst im Mittelpunkt der Forschung. Da die Klebetechnologie bereits in vielen Bereichen unseres täglichen Lebens erfolgreich Einzug gehalten hat, liegt auch die Idee nahe, tragende Verbundbauteile auf diese Weise herzustellen. Eine weitere untersuchte Variante sah auch die Verwendung einer sogenannten funktionalen Zwischenschicht zwischen Holz und Beton vor. Diese sorgt für eine schalltechnische Entkopplung der beiden Fügepartner und soll so zu einer Verbesserung des Trittschallschutzes beitragen.

* Dr. Christoph Hackspiel ist Mitarbeiter der Holzforschung Austria, Wien.

In einem ersten Schritt mussten Klebstoffe und Zwischenschichtmaterialien für den tragenden Verbund ausgewählt werden. Dazu wurde ein Anforderungsprofil bezüglich mechanisch erforderlicher Mindestwerte, bauphysikalischer Parameter und Kosten definiert. Zahlreiche Klebstoffsysteme und Zwischenschichtmaterialien wurden umfangreich untersucht und bewertet. Schließlich wurden synthetische und mineralische Klebstoffe sowie drei Zwischenschichtmaterialien für die Entwicklung einer Fügetechnik ausgewählt. Die Entwicklung und Erprobung derselbigen stellte einen wesentlichen Meilenstein im Forschungsprojekt dar, da sie von vielen Faktoren abhängig ist.

### Ambitionierte Forschungsfrage

Ziel des Forschungsprojektes war es, Brettsperrholz- mit Betonfertigteilplatten entweder direkt oder mit entsprechender funktionaler Zwischenschicht zu verbinden. Das Fügen sollte ohne zusätzliche Aufbau- oder Pressdruck und ohne zusätzliche Vorbehandlung der Fügepartner erfolgen, um die Herstellungskosten der geklebten Verbundelemente möglichst gering zu halten. Die Verknüpfung des Klebstoffs, die Fugenflanke und die Klebstoffapplikation sind Parameter, die Hand in Hand gehen und die Qualität (Vollflächigkeit) der Verklebung und damit die Leistungsfähigkeit des Verbundbauteils significant beeinflussen. In Kooperation mit einem Klebstoffhersteller wurde im Rahmen des Forschungsprojektes schließlich eine Methode entwickelt, mit welcher für synthetische Klebstoffe ein vollflächiger Verbund zwischen Holz und Beton hergestellt werden kann. Parallel zur Entwicklung der Fügetechnik wurde auch eine Vielzahl an Versuchen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Verklebung durchgeführt. Diese umfassten Untersuchungen zum Thema Schallleitfluss auf die Verbundfestigkeit, Wasserlagerung, zyklische mechanische und klimatische Beanspruchung sowie Versuche zur Untersuchung des Temperatureinflusses auf die Verbindungsfestigkeit. Nicht nur Holz, sondern auch Klebstoffe zeigen unter Dauerbeanspruchung ein zeitabhängiges Materialverhalten was man unter dem Begriff Kriechen subsumieren kann. Für die Beurteilung des Kriechverhaltens von geklebten HBV-Elementen wurden großformatige Prototypen hergestellt und in einem Kriechprüfstand an der Holzforschung Austria über ein Jahr lang untersucht. Darüber hinaus wurde auch das schalltechnische sowie das statische Verhalten an großformatigen Prototypen untersucht. Diese wollen die tatsächliche Leistungsfähigkeit des geklebten Verbundes mit bzw. ohne funktionaler Zwischenschicht unter Beweis stellen. Die vor Ort hergestellten Decken wurden im Akustik Center Austria im niederösterreichischen Rotten hinsichtlich des Trittschallschutzes sowie der Raumakustik genau untersucht. Anschließend wurden die Decken in einzelne Elemente zerlegt und in Vier-Punkt-Biegeversuchen bis zum Versagen geprüft. Diese Untersuchungen gaben wichtige Aufschlüsse über das Trag- und Verformungsverhalten der HBV-Elemente und dienten der Beurteilung des neuen Verbundsystems im Vergleich zu den bereits heute am Markt verwendeten Verbindern.

### Leistungsfähige neue Fügetechnik

Die gesamte Leistungsfähigkeit der im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten Klebefügetechnik konnte im Zuge der Versuche erfolgreich demonstriert werden. Durch die direkte Verklebung von Holz und Beton entstehen sehr biegesteife Bauteile mit einer geringen Schubverformung zwischen den Fügepartnern. Dies erlaubt eine optimale Ausnutzung und Dimensionierung der beiden Baustoffe Holz und Beton. Dadurch lassen sich im Vergleich zu reinen Brettsperrholzdecken größere Spannweiten überbrücken. Die Betonmasse im Verbundsystem verbessert das Schwingungs- und Akustikverhalten der Decke. Vergleichsrechnungen zeigen, dass die Biegesteifigkeit des geklebten Systems über jener der Schraube bzw. der Kerve liegt. Auch die HBV-Prototypen mit elastischer funktionaler Zwischenschicht zeigen ein überaus schönes hohes Tragvermögen bei vergleichsweise hoher Biegesteifigkeit.

Der positive Effekt der Entkopplung des Holzes vom Beton auf den Trittschallschutz durch die funktionalen Zwischenschicht konnte im Schallprüfstand erfolgreich gezeigt werden. Zwar lag der Fokus des Forschungsprojektes primär auf der Entwicklung eines geklebten statischen Verbundes von Holz und Beton, die Ergebnisse der Schallmessungen zeigen jedoch auch, dass das geklebte entkoppelte HBV-System noch großes Optimierungspotenzial besitzt.

In einer Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde ein Richtpreis für einen Quadratmeter Decke des neu entwickelten geklebten Systems ermittelt. Für eine Standarddecke mit 6 bis 8 m Spannweite bewegt sich das geklebte System preislich zwischen dem Verbindungsmittel Kerve und Schraube. Der große Vorteil des geklebten Systems ist allerdings, dass die Herstellung wesentlich schneller vonstattengehen kann als bei herkömmlichen HBV-Systemen. Nach dem teilweise automatisierten Klebstoffauftrag muss lediglich die Betondeckenplatte abgelegt werden. Durch weitere Optimierungen in der Herstellung (z. B. Vollflächigkeit der Verklebung, Klebefugendicke, Klebstoffapplikation, Fugengeometrie usw.) können die Herstellungskosten des geklebten HBV-Systems sicherlich weiter reduziert werden.

Durch die Aktivitäten im Rahmen des Forschungsprojektes konnte gezeigt werden, dass durch einen vollflächigen, klebten Verbund zwischen Brettsperrholz- und Betonfertigteilen statisch leistungsfähige und wirtschaftliche Deckenelemente hergestellt werden können. Erste statische und akustische Versuche an HBV-Prototypen konnten dabei das volle Potenzial der Klebetechnologie zutage fördern. Neben weiteren tiefgehenden Untersuchungen zum Thema der Dauerhaftigkeit der Verklebung werden die weitere Optimierung der Fügetechnik, die Adaptierung der funktionalen Zwischenschicht sowie die Entwicklung eines Deckensystems mit Bemessungsmodell und Detaillösungen (z. B. Auflager, schubsteifen Deckenfeld, usw.) sehr stark im Fokus künftiger Forschungsaktivitäten in diesem Bereich sein.

**PROJEKTDATEN**

**Förderung und Finanzierung**

Förderungsabwicklung: Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG)

Fördergeber: Austrian Cooperative Research (ACR), Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (BMDW)

Projektpartner: Holzforschung Austria (HFA) und Vereinigung der österreichischen Zementindustrie (VÖZ)

Projektgesamtkosten: etwa 675 000 Euro

**HINTERGRUND**

**Austrian Cooperative Research (ACR)**

Mit dem Kooperationsnahbers des Austrian Cooperative Research soll im Verbund mehrerer Projektpartner für eine strategische Idee in einem bestimmten Zeitfenster gezielt know-how aufgebaut werden. Das ACR-Kooperationslabor ist innovativ und mit wissenschaftlicher Methodik ausgerichtet, wobei insbesondere auf den wirtschaftlichen Mehrwert bzw. Nutzen vor allem für kleine und mittlere Unternehmen nach Projektabschluss geachtet wird.



HBV-Prototyp mit funktionaler Zwischenschicht während der Vier-Punkt-Biegeprüfung — Fotos: Holzforschung Austria



Herstellung der Klebefuge mittels Klebstoffapplikationsmaschine



Untersuchung der Fügetechnik anhand von mittelgroßen Holz-Beton-Verbundprobekörpern



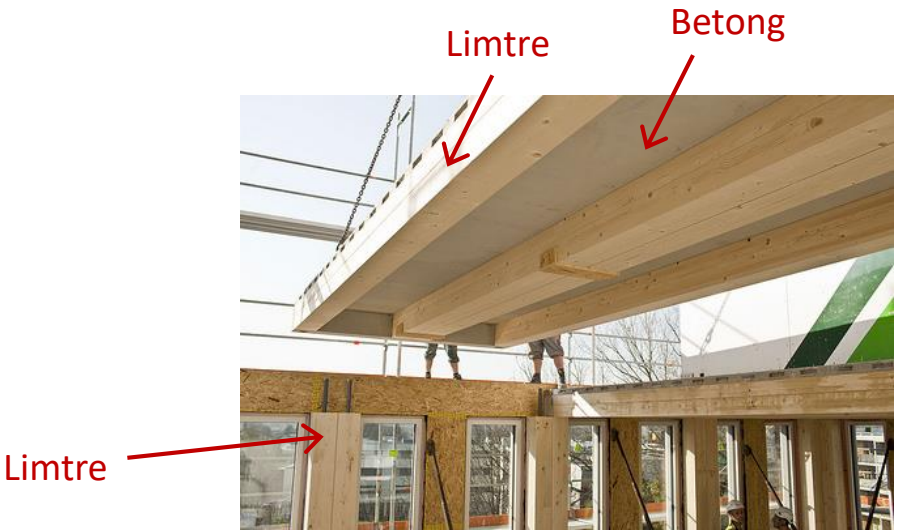
Ablegen des Betonfertigteils auf der Klebefuge bei direkt verklebten HBV-Prototypen

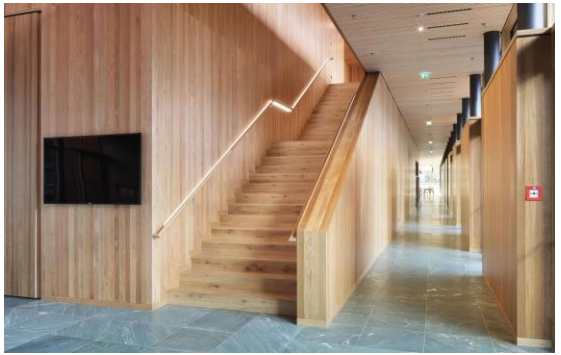
Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# Tre og betong

- Cree patentert hybrid-system

  Limtrebjelker og –søyler, betongdekke



*Bilder: Passivegreen Wordpress, Cree by Rhomberg*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# **Tre og betong** – Adidas Headquarters (2020)

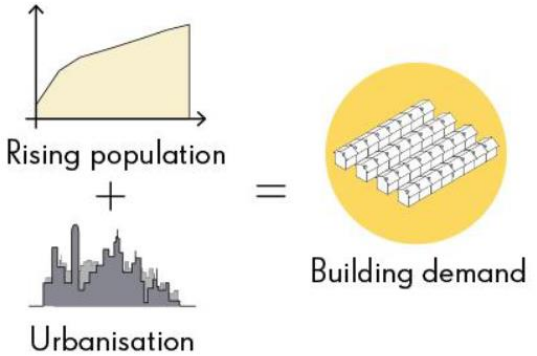
- Betong søyler og tverrgående bjelker

*Bilder: Lever Architecture*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# Build-in-Wood

- **Den spesifikke utfordringen:**
  - Parisavtalen – redusere GHG emisjoner
  - Byggesektoren er ansvarlige for en stor del av GHG emisjonene
- **Ca. € 10 mil. til å «løse»/undersøke problemet**




*Illustrasjon: Waugh Thistleton Architects*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

BUILD IN WOOD

# Utfordringer ved trekonstruksjoner

- Brann og lyd
- Krav og reglement
- Mangel på erfaring
- Tradisjoner (vi har alltid gjort slik…)
- Høyere risikoer (ift. forsikring)
- Høyere kostnader forbunnet med bygget

↓

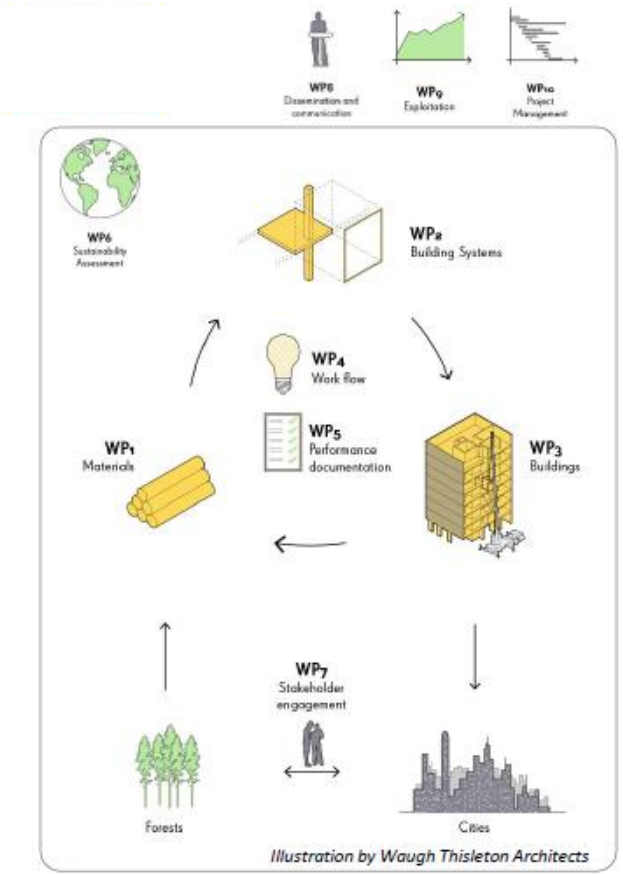
**Ambisjonen med Build-in-Wood er å bryte ned disse barrierer og gjøre trekonstruksjonsmetoder til vanlig praksis i byggesektoren**

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

NORSK TRETEKNISK INSTITUTT

# Forskjellige arbeidspakker

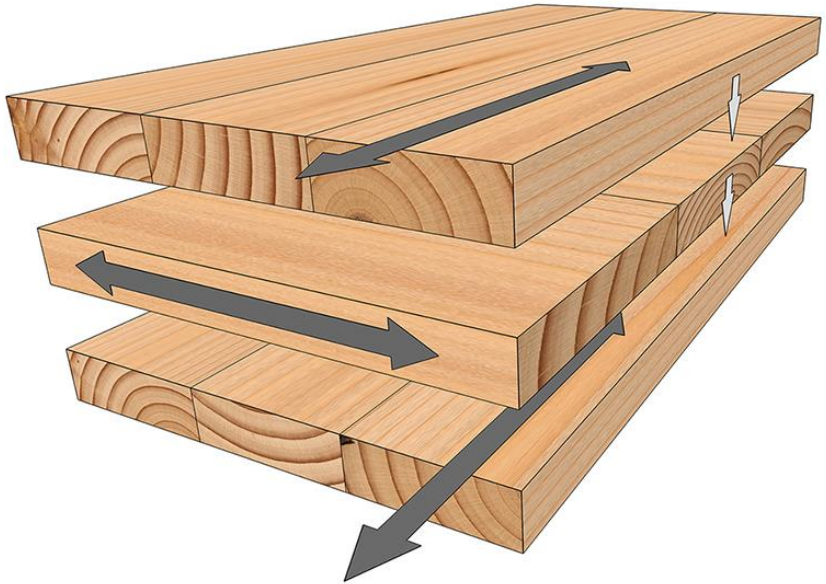
1. Materialer og komponenter
2. Byggesystemet
3. Bygninger og byer
4. ICT og byggeprosessen
5. Ytelsesdokumentasjon
6. Bærekrafts-vurderinger
7. Interessenter
8. Formidling og kommunikasjon
9. Forretningsutvikling
10. Prosjektledelse



Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# 1. Materialer og komponenter

- Optimalisert bruk av tre i kl-tre
- Forbedring av egenskaper til
  - Prefabrikkerte hybrid-syste
  - Bruk av material med høy
- Påvirkning av overflatebehan
- Bruk av natur-basert isolasjor

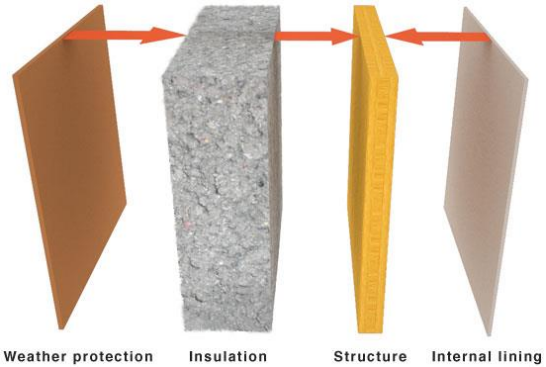


*Illustrasjon: Reid Middleton*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# 1. Materialer og komponenter

- Optimalisert bruk av tre i kl-tre
- Forbedring av egenskaper til kl-tre ift. brann og akustikk
  - Prefabrikkerte hybrid-systemer, brannbehandling av overflaten til kl-tre (brann)
  - Bruk av material med høy densitet i kl-tre (akustikk)
- Påvirkning av overf
- Bruk av natur-baser

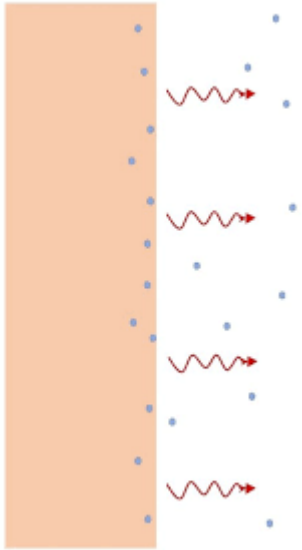


*Illustrasjon: Greenspec, Structure craft*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# 1. Materialer og komponenter

- Optimalisert bruk av tre i kl-tre
- Forbedring av egenskaper til kl-tre ift. brann og akustikk
  - Prefabrikkerte hybrid-systemer, brannbehandling av overflaten til
  - Bruk av material med høy densitet i kl-tre (akustikk)
- Påvirkning av overflatebehandling av kl-tre på inneklima
- Bruk av natur-basert isolasjon i kl-tre paneler



*Bilde: Hameury, 2006*

Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# 1. Materialer og komponenter

- Optimalisert bruk av tre i kl-tre
- Forbedring av egenskaper til kl-tre ift.
  - Prefabrikkerte hybrid-systemer, brannl
  - Bruk av material med høy densitet i kl-
- Påvirkning av overflatebehandling av
- Prefabrikkering av kl-tre paneler med bruk av natur-basert isolasjon

*Bilde: Archetcetera*

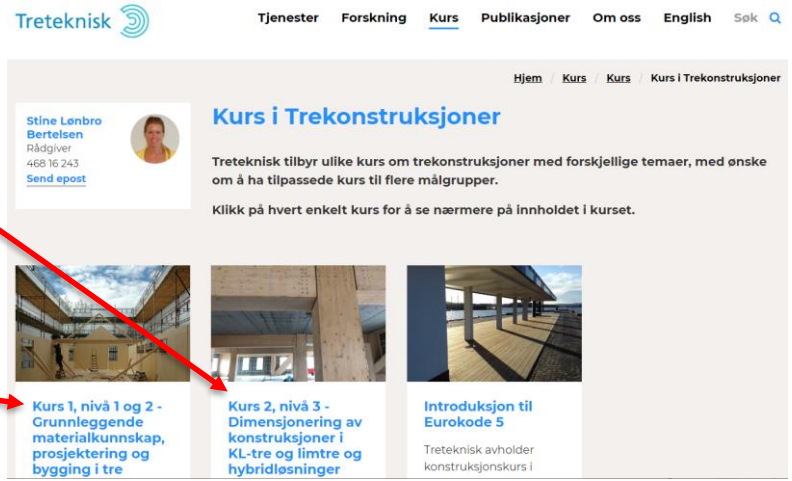
Kompetansesenter for tre
Treteknisk

# Ikke hørt nokk om tre- og hybridkonstruksjoner?

- Kurs hos Treteknisk avholdes 18.-21. november

Dimensjonering av konstruksjoner i kl-tre, limtre og hybridkonstruksjoner

Grunnleggende materialkunnskap, prosjektering og bygging i tre




**Link:** http://www.treteknisk.no/kurs/kurs/kurs-i-trekonstruksjoner

# Takk for meg!

Stine Lønbro Bertelsen slb@treteknisk.no