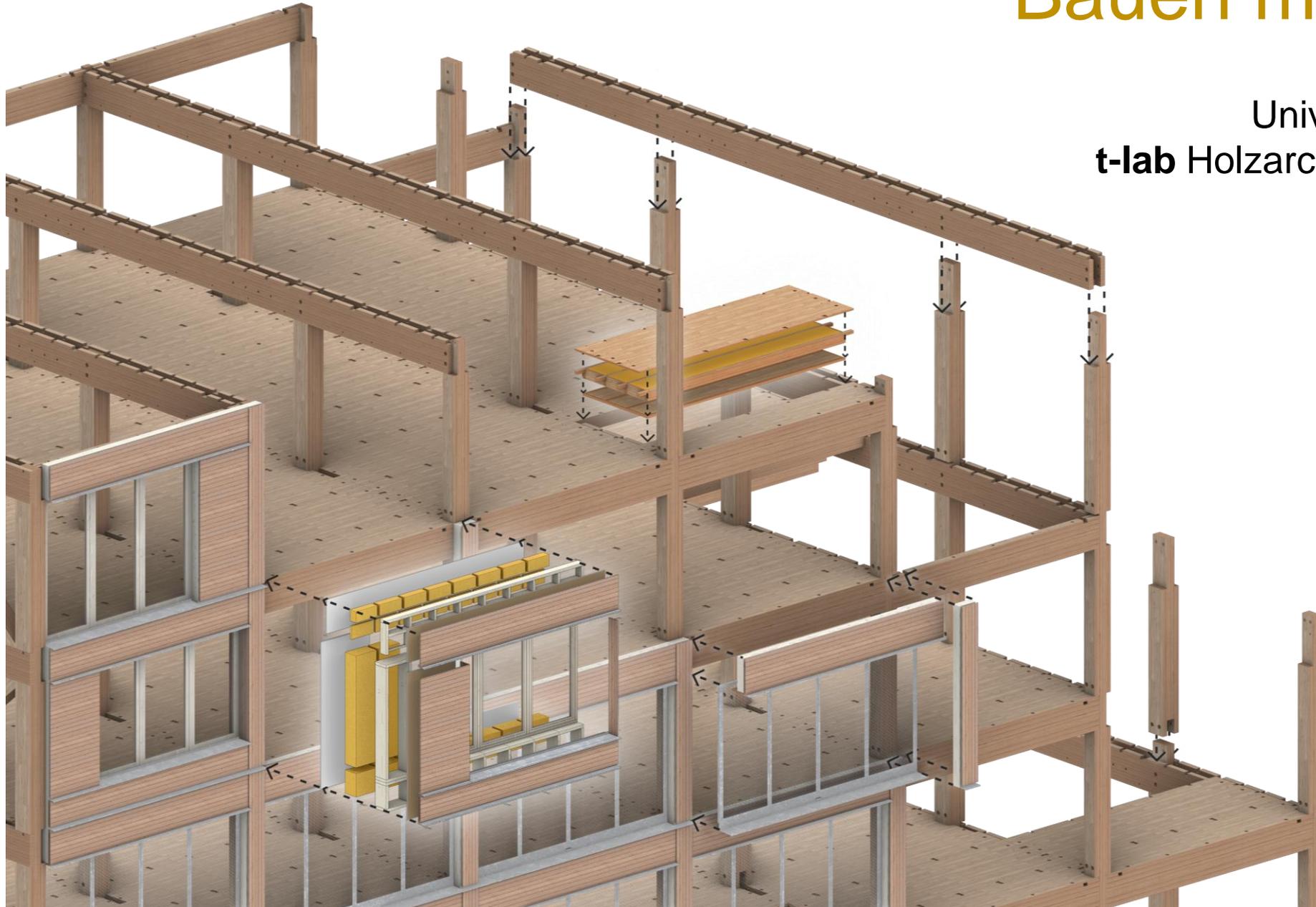


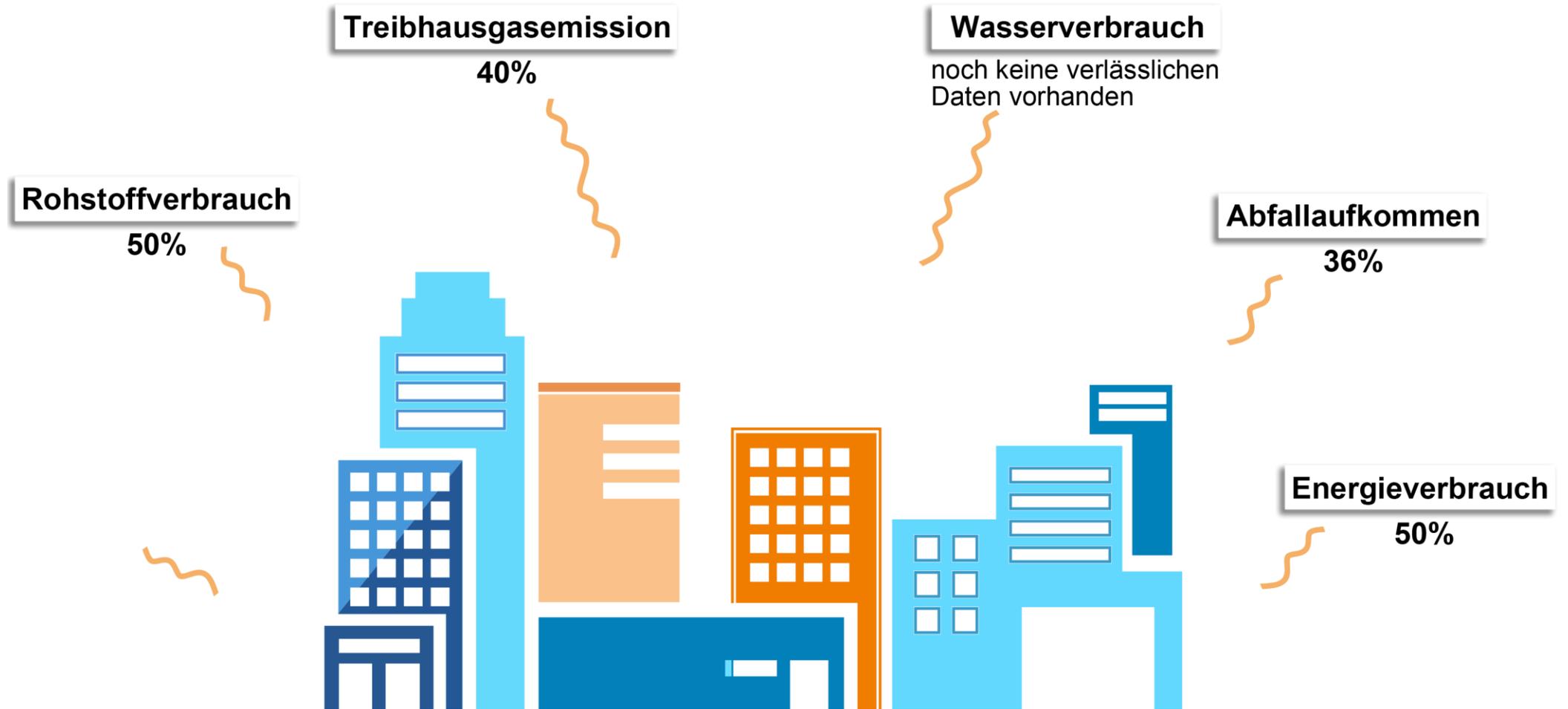
Bauen mit Buchenholz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Graf
t-lab Holzarchitektur und Holzwerkstoffe
TU Kaiserslautern



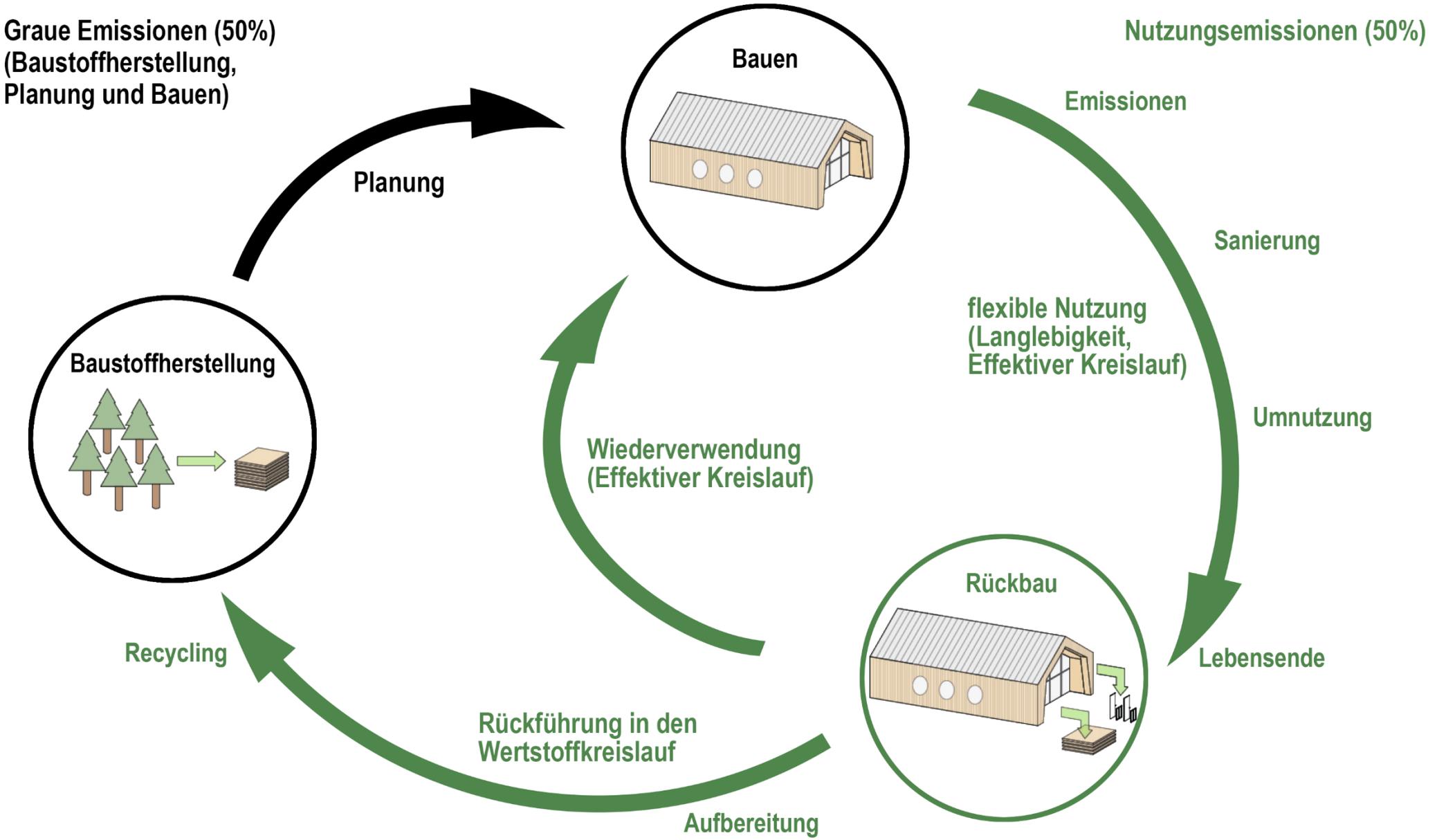
Erstellung von Bauwerken in Europa

(Linearwirtschaft: Rohstoffgewinnung – Produktion – Handel – Verbrauch – Entsorgung – Deponierung)



Quelle.: Heisel, F.; Hebel D. E. (2021) *Einführung*. In: Heisel, F.; Hebel D. E. [Hrsg] Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen – Die Stadt als Rohstofflager. Fraunhofer IRB Verlag, 2021, S. 9-15

Bauwende - Kreislaufeffektivität



Kreislauffektivität

Wirkungsvolle Maßnahmen, die ein Wirtschaften in Kreisläufen fördern:

Bauen mit Holz

- Biologischer Kreislauf
- Effizienz (Sparsamkeit der Rohstoffverwendung)

Nutzungsflexibilität

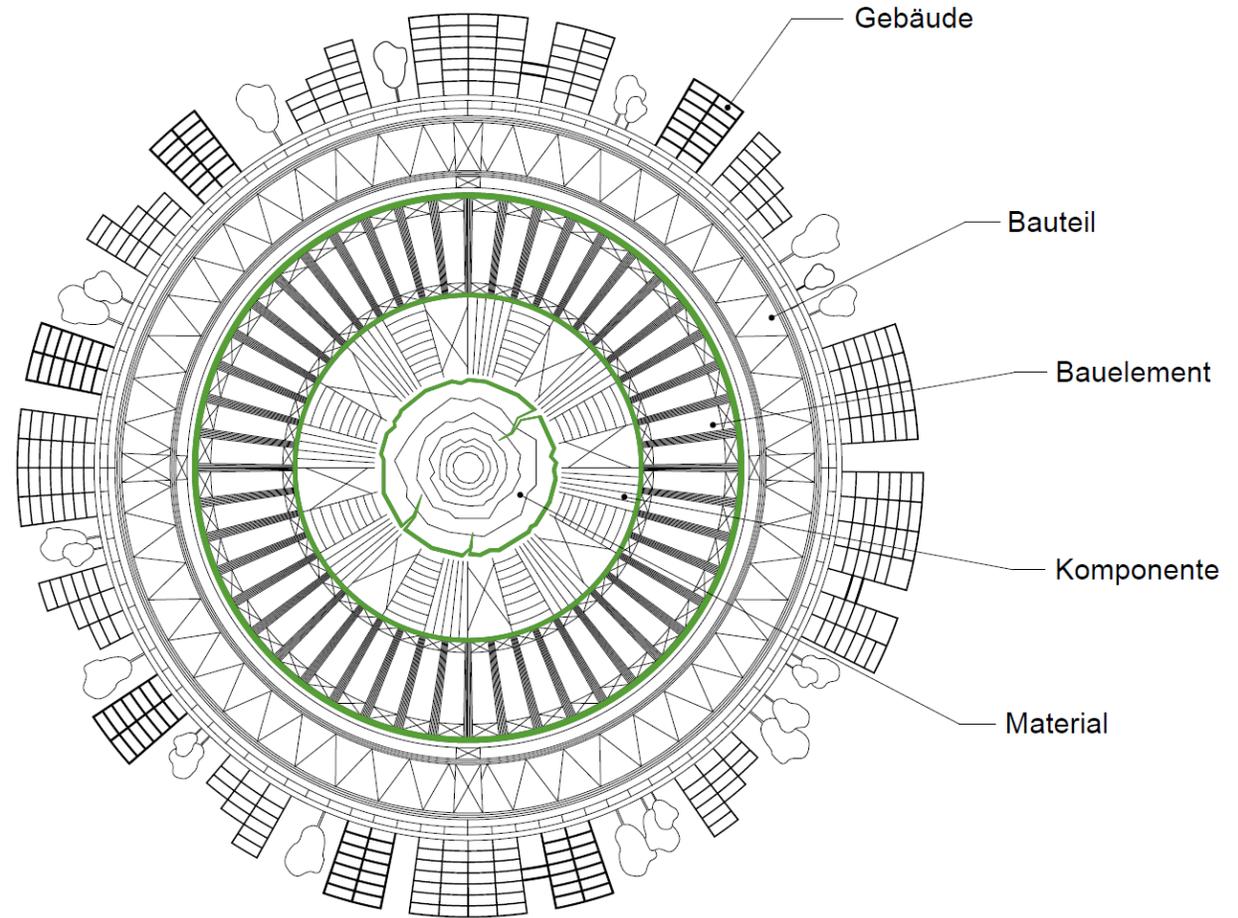
- Langlebigkeit
- Nutzungsflexible Tragwerke (Geschossebenen und -höhen)

Wiederverwendbarkeit

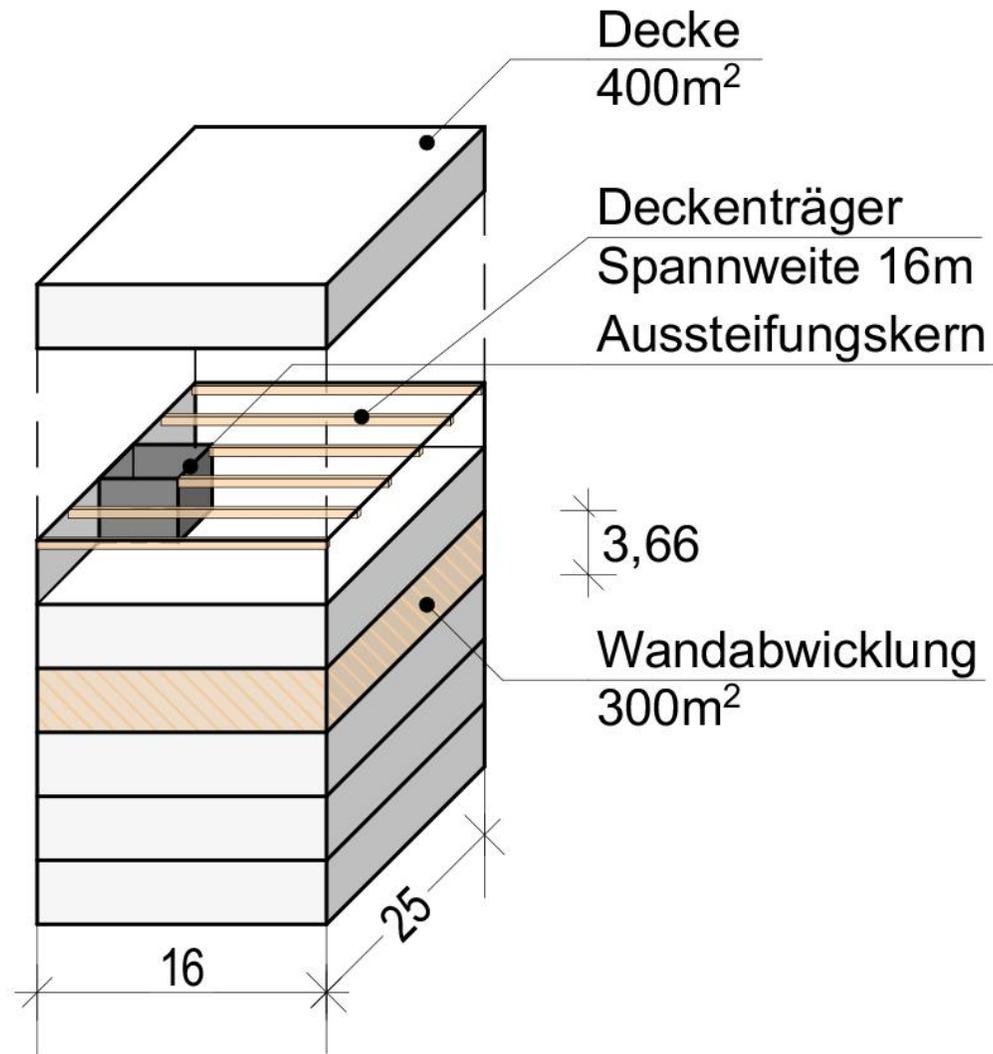
- Elementierung von Bauteilen
- Standardisierung von Bauteilen und -elementen
- Sortenreinheit
- Zerstörungsfreier Rückbau
- Reversibilität von Anschlüssen
- Formschlüssige Verbindungen
- Material- und Gebäudepässe

Kreislaufgerechte Planungsbedingungen

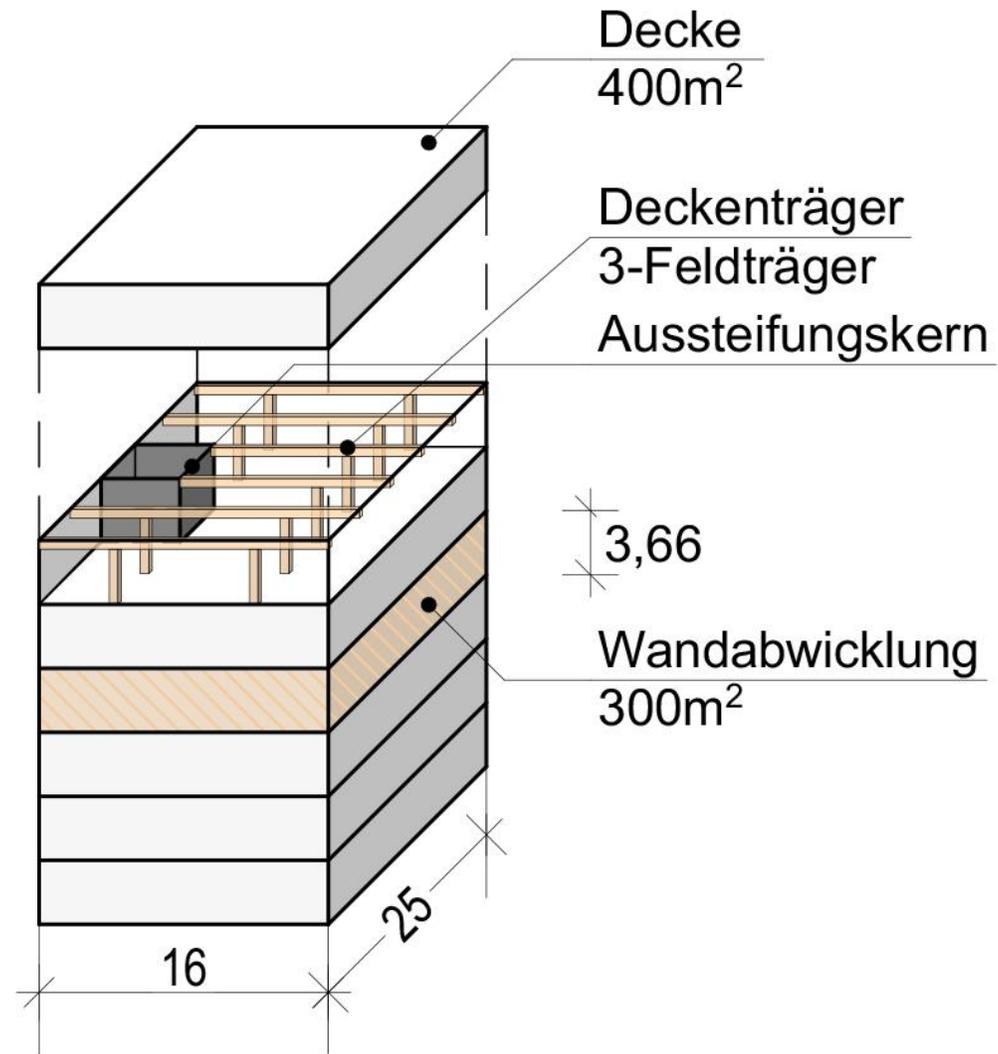
Jürgen Graf, Stephan Birk et al.



Kreislaueffektivität - Nutzungsflexibilität

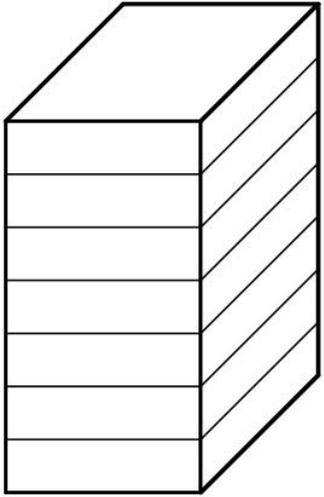


Einraumssystem

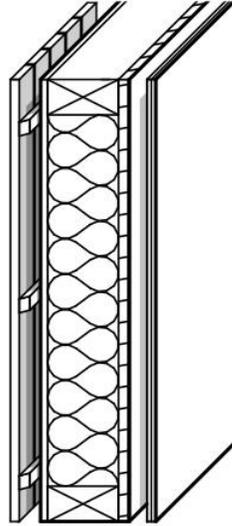


Skelettbau

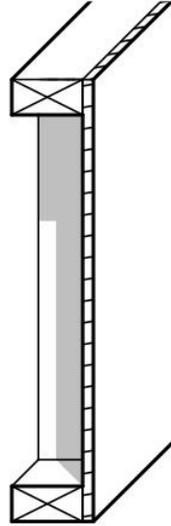
Fünf Ebenen der Kreislauffähigkeit



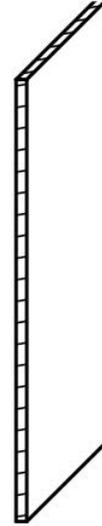
Gebäude



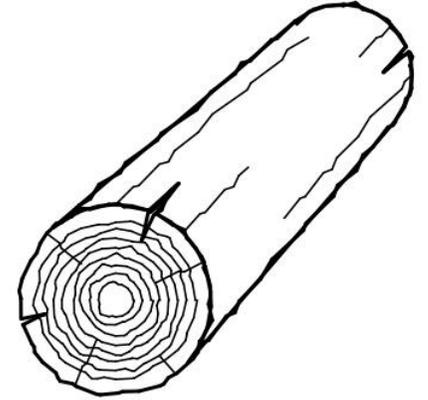
Bauteil
(Bsp. Außenwand)



Bauelement
(Bsp. Konstruktionsschicht)



Baukomponente
(Bsp. Holzwerkstoffplatte)



Material
(Bsp. Holz)

Vorfertigung



linear



flächig



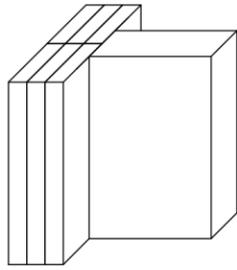
raumhaltig



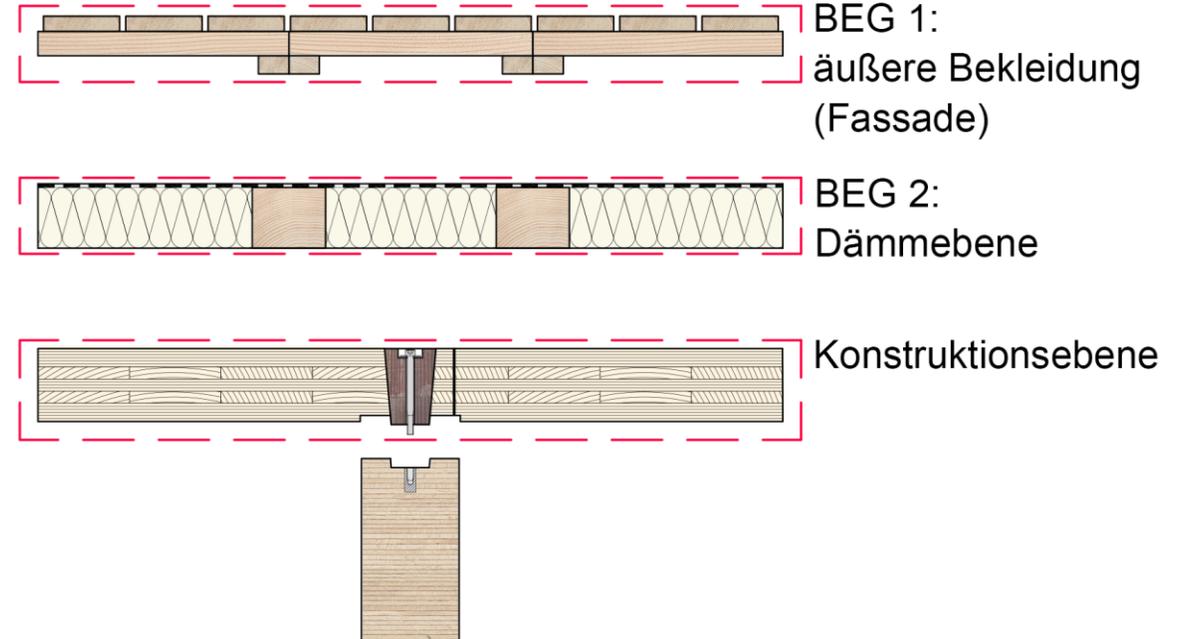
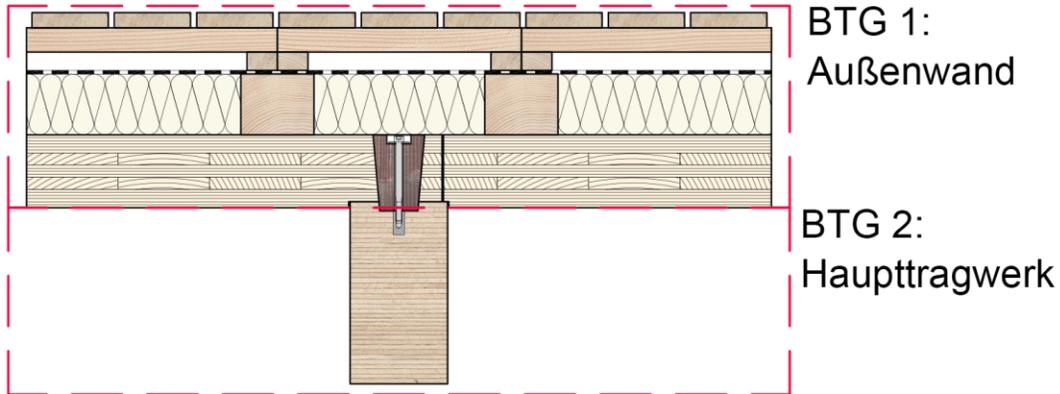
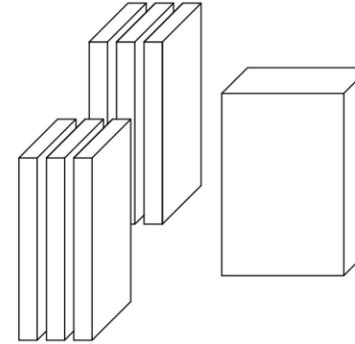
Kreislauffähigkeit: sortenrein, elementiert, standardisiert, reversibel, rückbaubar, hybrid, neue Baukomponenten

Kreislauffektivität – Wiederverwendung: Baugruppen – Bauteilgruppe vs. Bauelementgruppe

Bauteilgruppen (BTG)

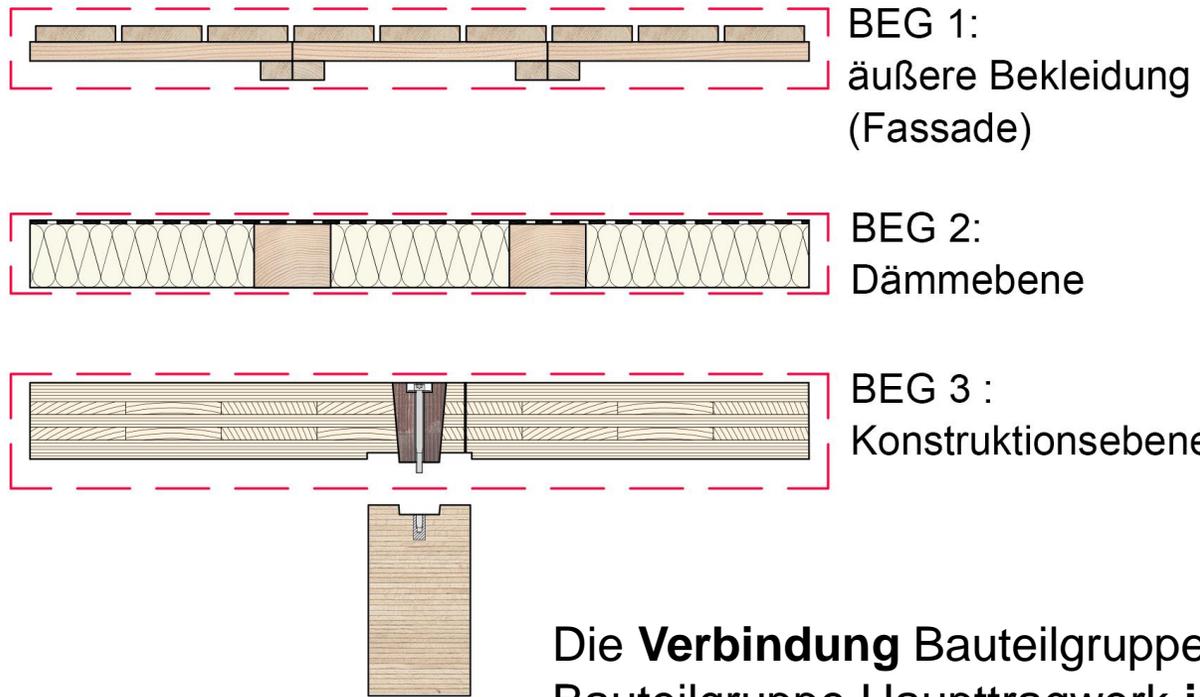


Bauelementgruppen (BEG)

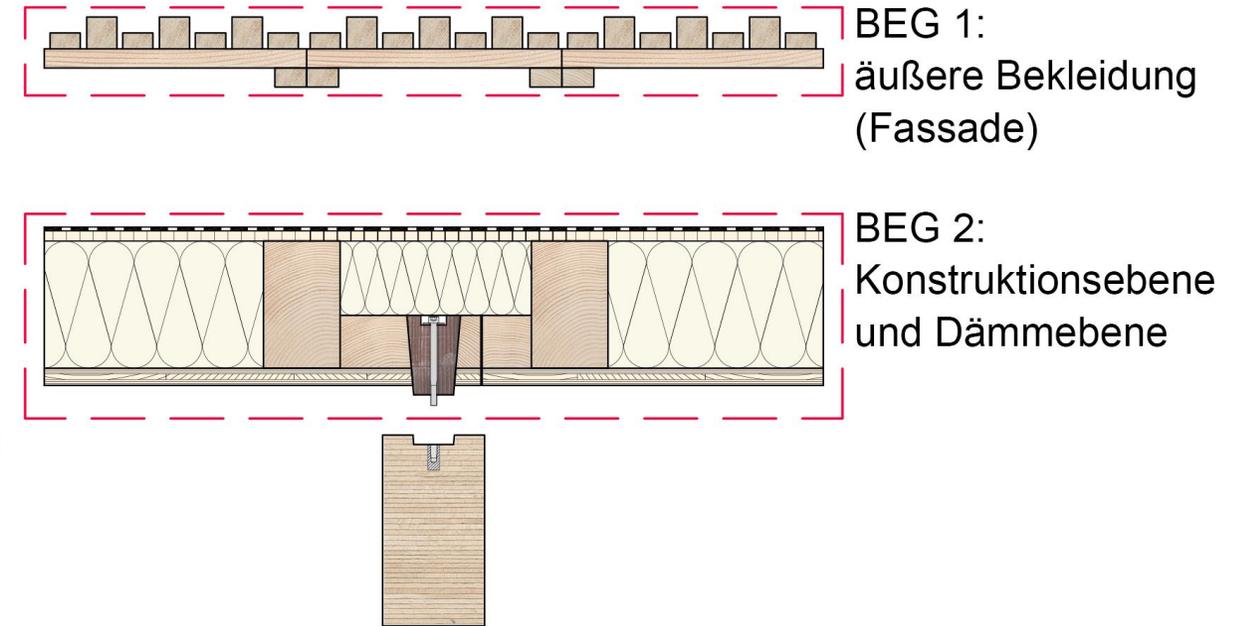


Baugruppen – Bauteilgruppe vs. Bauelementgruppe

Bauteilgruppe: Außenwand Variante 1: Brettsperrholzbauweise



Bauteilgruppe: Außenwand Variante 2: Holztafelbauweise

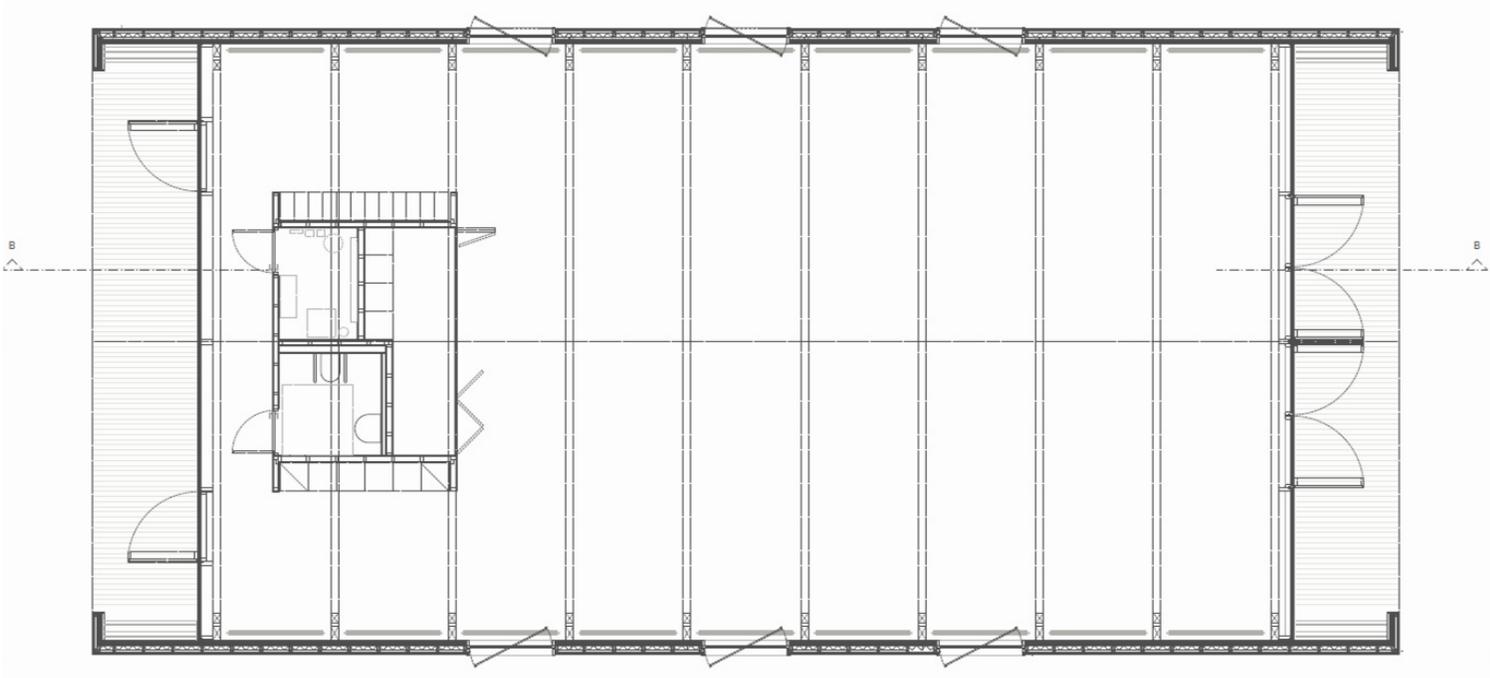


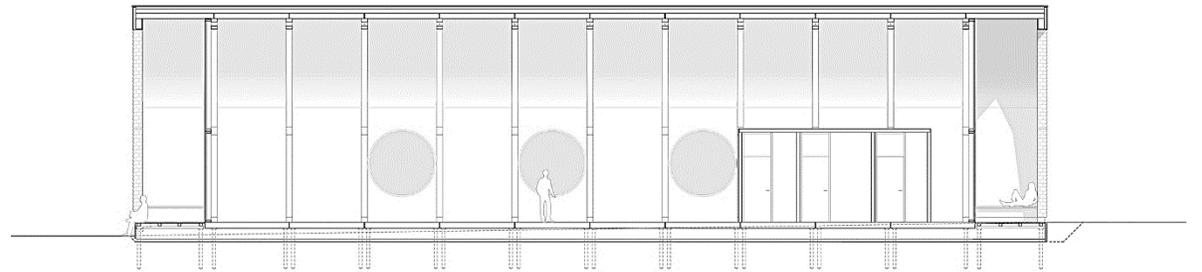
Die **Verbindung** Bauteilgruppe Außenwand an Bauteilgruppe Haupttragwerk **ist standardisiert und reversibel** – hier mit Konusdübeln

Werk- und Forschungshalle Diemerstein



Einraumsystem





Stephan Birk, Jürgen Graf et al. | Werk- und Forschungshalle Diemerstein, Längsschnitt

100% Rückbaubarkeit



Jürgen Graf, Stephan Birk et al.

Bauteilgruppe Tragwerk 2,50 m Raster

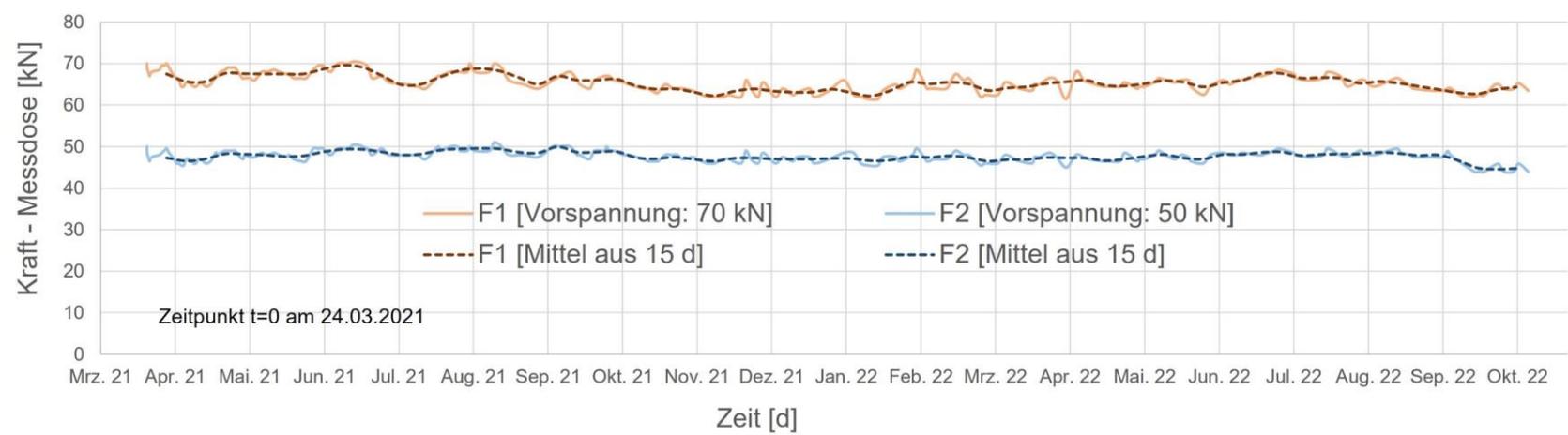


Bauteilgruppe Außenwand 2,50 m Raster



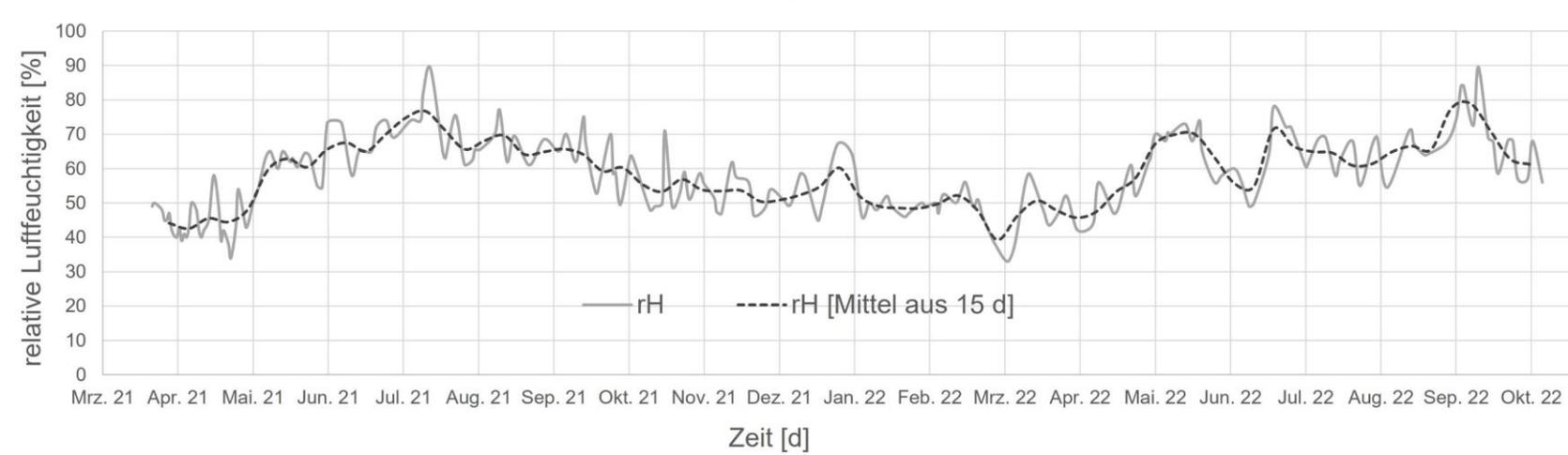
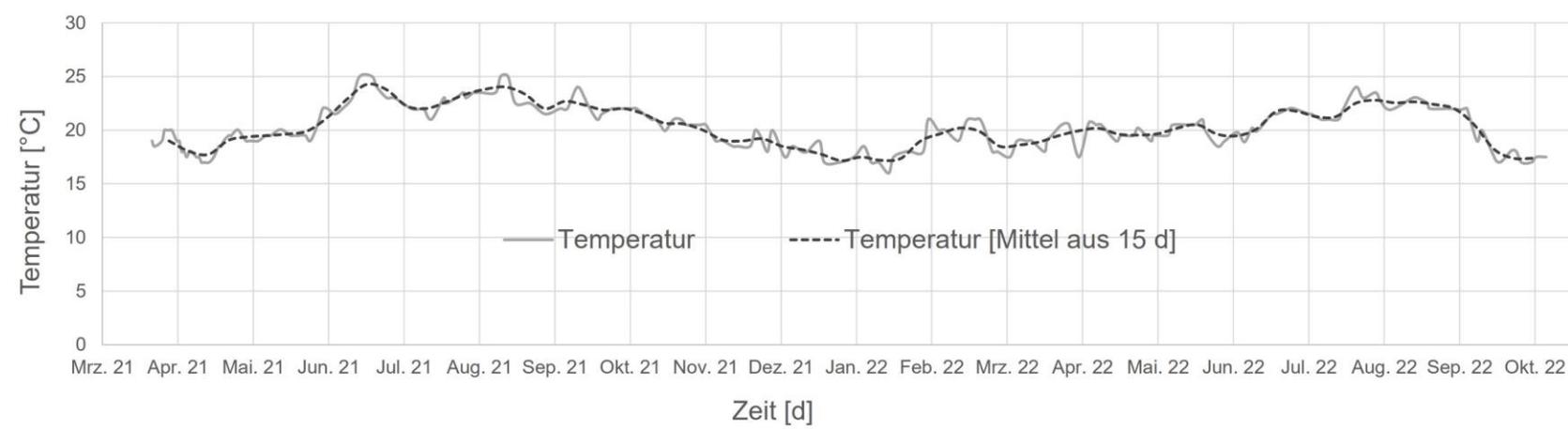
Formschlüssige, reversible Verbindungen - Traufknoten





Vorspannung im
Holzbau

Spannkraftverlust
ca. 10 - 15%





Traufknoten aus Kunstharzpressholz (KP); Querkraftanschluss über Schubnocken

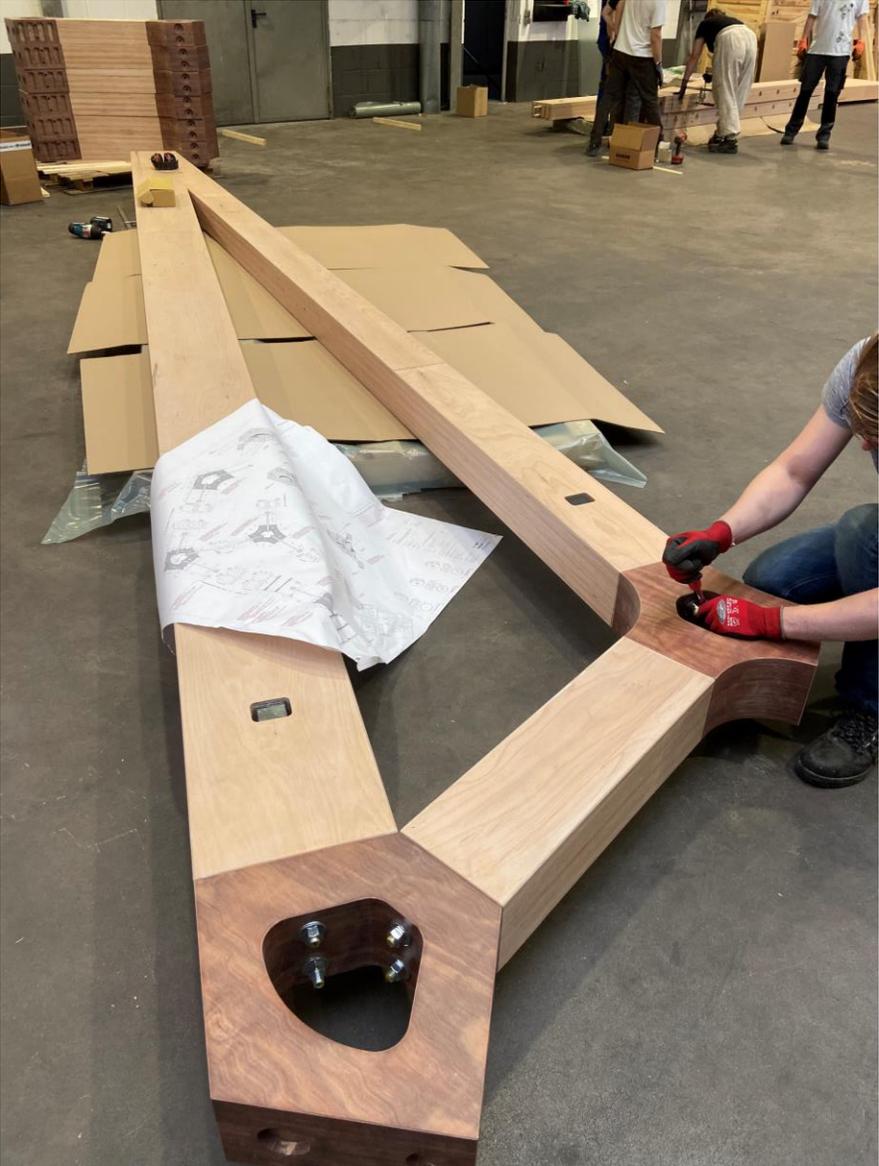
Dissertation TU Kaiserslautern
Dennis Röver

Entwicklung neuartiger
Knotenverstärkungen
von Holztragwerken
mit Kunstharzpressholz (KP)

Formschlüssige, reversible Verbindungen - Traufknoten



Werk- und Forschungshalle Diemerstein



Werk- und Forschungshalle Diemerstein - Probeachse



Jürgen Graf, Stephan Birk et al.



Reversibler Anschluss einer elementierten BSP-Decken- und Wandplatte am Dreigelenkrahmen

KonUSDübel aus Kunstharzpressholz (KP)

- + **formschlüssige Verbindung**
- + das konusförmige Element lässt beim Einführen einen **Bauteilgenauigkeitsausgleich** zu
- + der KP-KonUSDübel **überträgt Schubkräfte** zwischen zwei Bauteilen
- + der KP-KonUSDübel ist formstabil und hochfest
- + Konusform verhindert ein Ablösen der Bauteile (**Keilwirkung**)
- + Durch die **Formstabilität des KP-KonUSDüfels** bleiben auch die verbundenen Bauteile im Verbindungsbereich formstabil

→ **Reversibilität dauerhaft gegeben!**





Werk- und Forschungshalle Diemerstein – Baustellenmontage Ende September 2022



Jürgen Graf, Stephan Birk et al.

Werk- und Forschungshalle Diemerstein – Baustellenmontage Ende September 2022



Jürgen Graf, Stephan Birk et al.

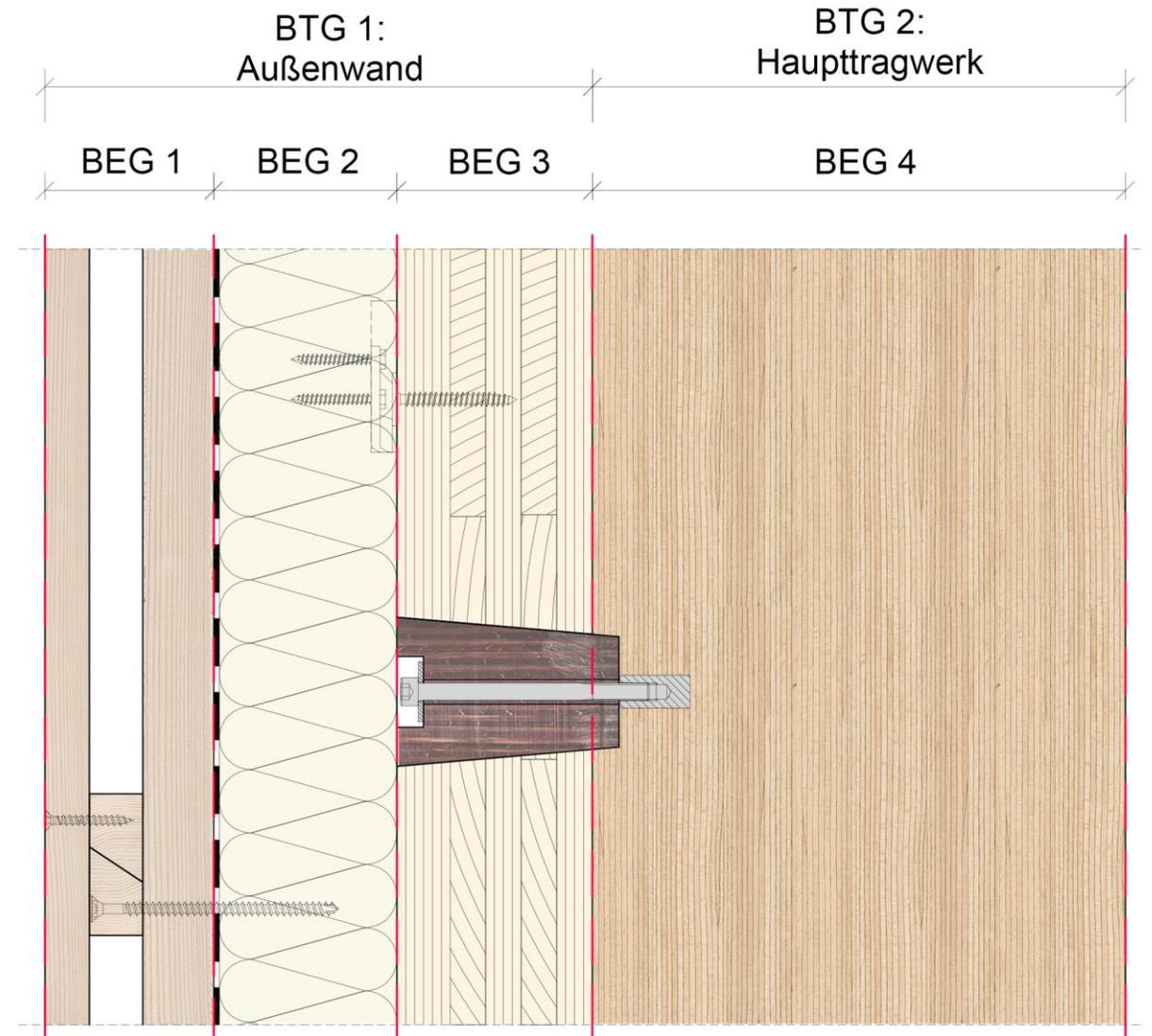
Werk- und Forschungshalle Diemerstein – Baustellenmontage Ende September 2022



Baugruppen – Bauteilgruppe vs. Bauelementgruppe

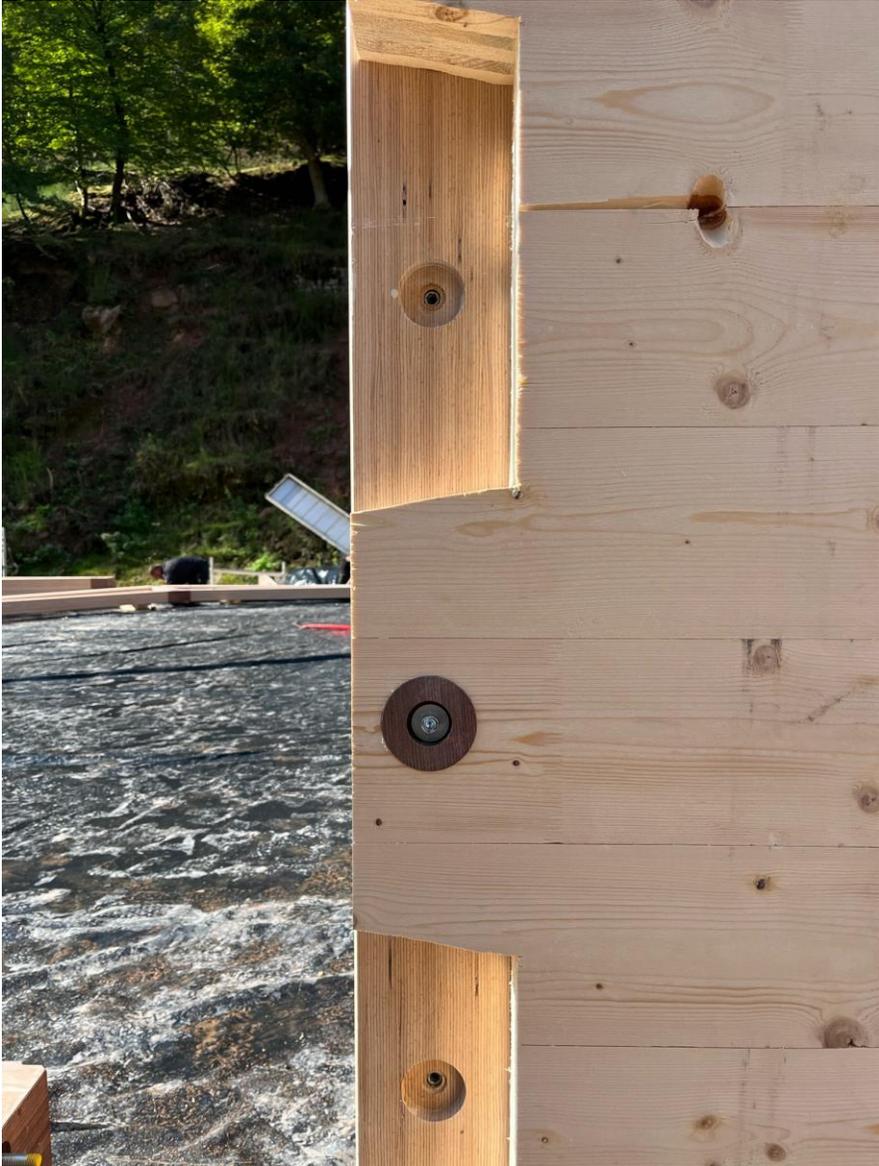


Konusdübel aus
Kunstharzpressholz



- BEG 1: äußere Bekleidung (Fassade)
- BEG 2: Dämmebene
- BEG 3: Konstruktionsebene
- BEG 4: Stützebene

Werk- und Forschungshalle Diemerstein – Baustellenmontage Ende September 2022



Werk- und Forschungshalle Diemerstein – Bauteilgruppe Außenwand





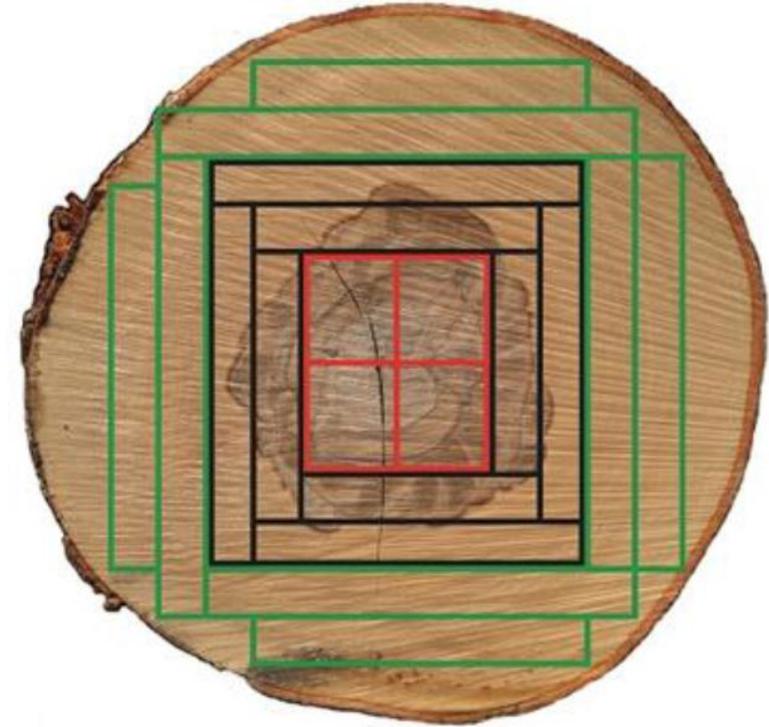
Jürgen Graf, Stephan Birk et al.

Kreislauffähigkeit - Einraumsystem

Standardisierte Buchenholz-Hybridträger großer Spannweite (STABU)

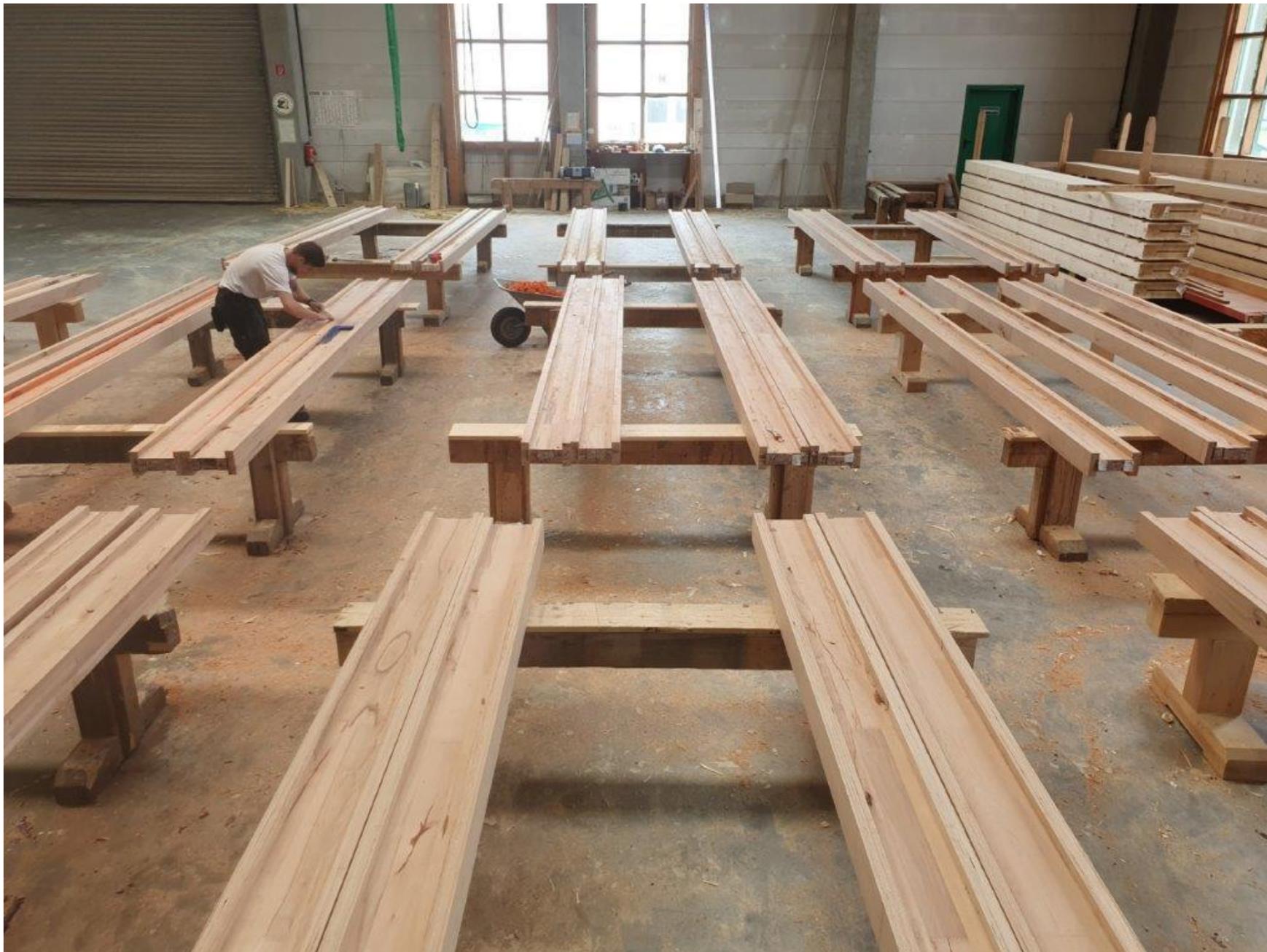
Fördergeberin:
FNR – Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe

Steigerungspotential von Produktspeicher und stofflicher Substitution durch Buchenholzprodukte niedriger Holzqualität, 2018-21



Blockbandsägeneinschnitt

ROT: Kernholz, Verwendung als Lagerhölzer oder thermische Verwertung



Bauteile Buchenholz-Hybridträger großer Spannweite (STABU) – Schaffitzel Holzindustrie, Schwäbisch Hall

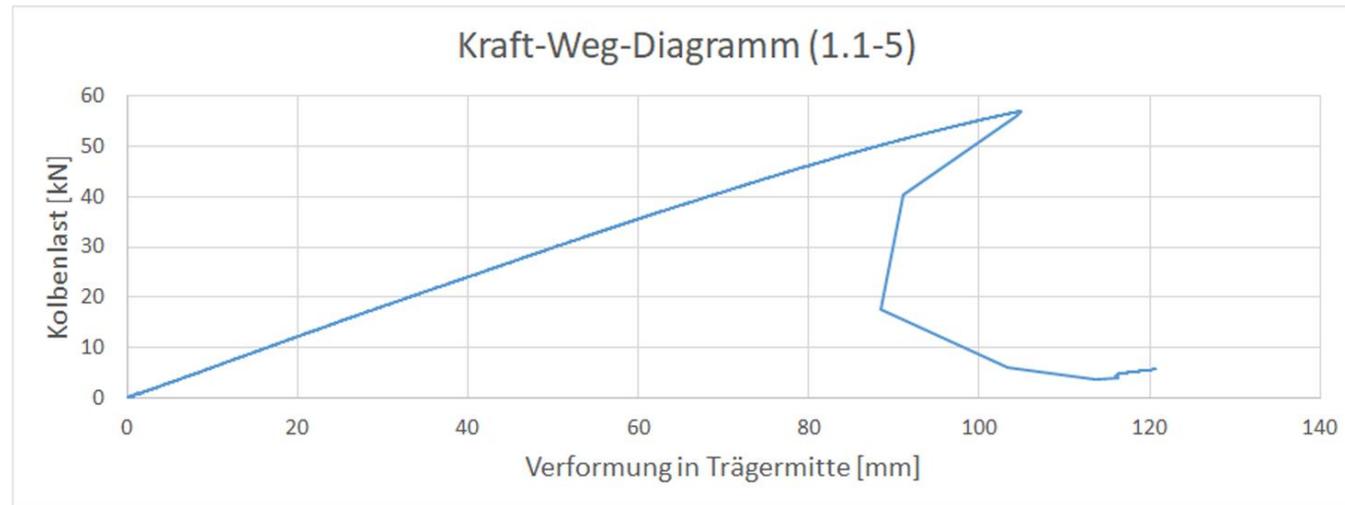
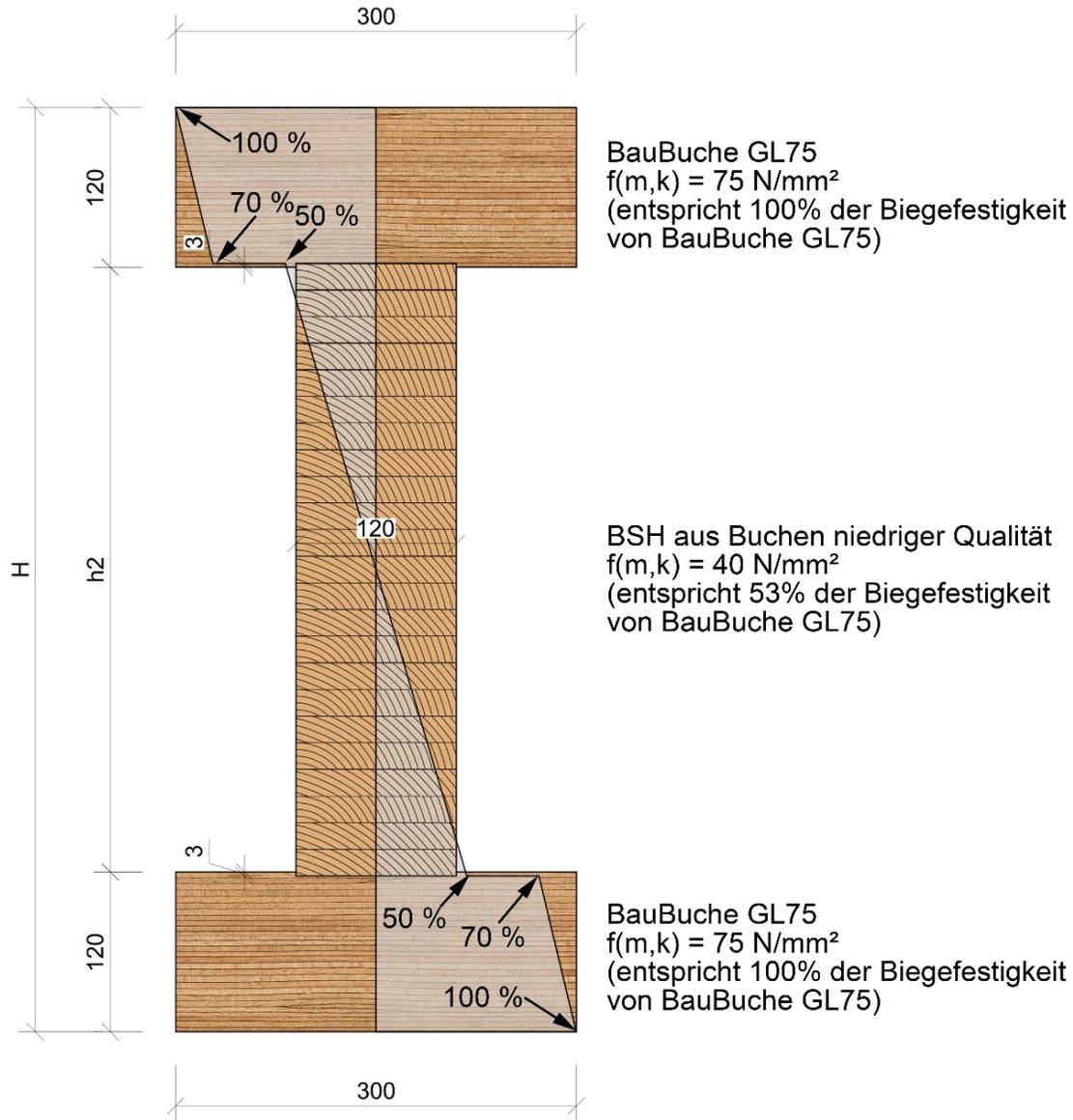


Flansch:
Buchenfurnierschichtholz

Steg: Bretter aus
Buche niedriger Qualität

Standardisierte Buchenholz-Hybridträger großer Spannweite (STABU)

I-profilierter Träger - Biegespannungsverteilung



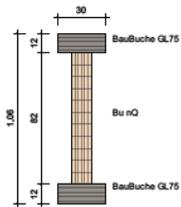
Tragwerk

Spannweite 28,00 m
 Achsabstand Träger 1,50 m
 I-Hybridträger (Typ D)
 Trägerhöhe 1,06 m
 Flanschbreite 30 cm

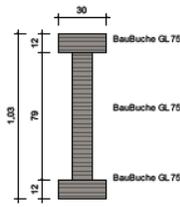
Dachaufbau

Belastung /
 Gröndach 50 mm
 Bläunen, 2-lagig 24 mm
 Dämmung 250 mm
 Dampfsperre 100 mm
 Brettsperrholz

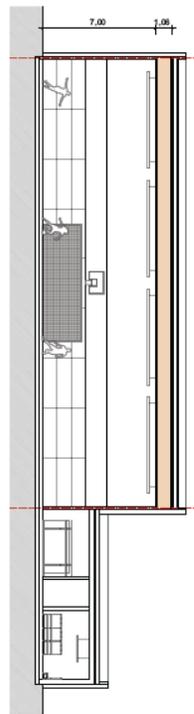
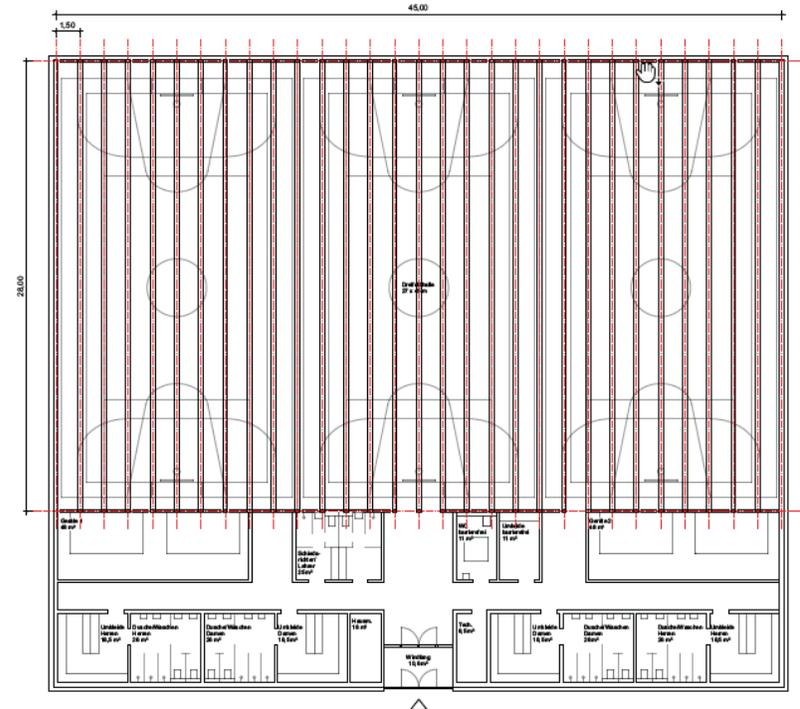
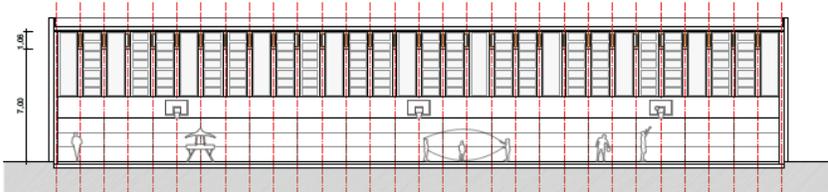
Trägerquerschnitt D / M 120



Trägerquerschnitt E / M 120



In den Zeichnungen dargestellt: Trägertyp D



Standardisierte Buchenholz-Hybridträger großer Spannweite (STABU), Anwendungsbeispiele

I-profilierter Trägervarianten

Träger 1



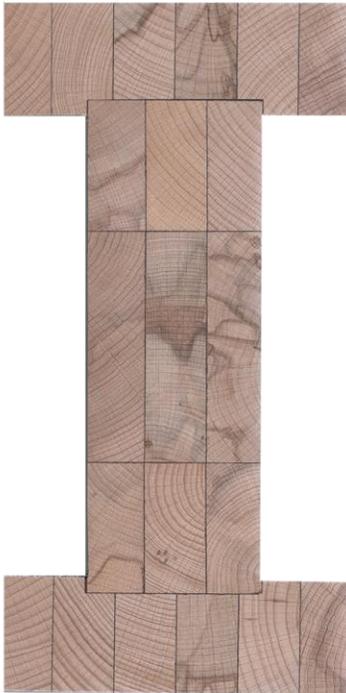
Träger 2



Träger 3



Träger 4



Träger 5



Gurte
Steg

BauBuche GL75
Bu nQ

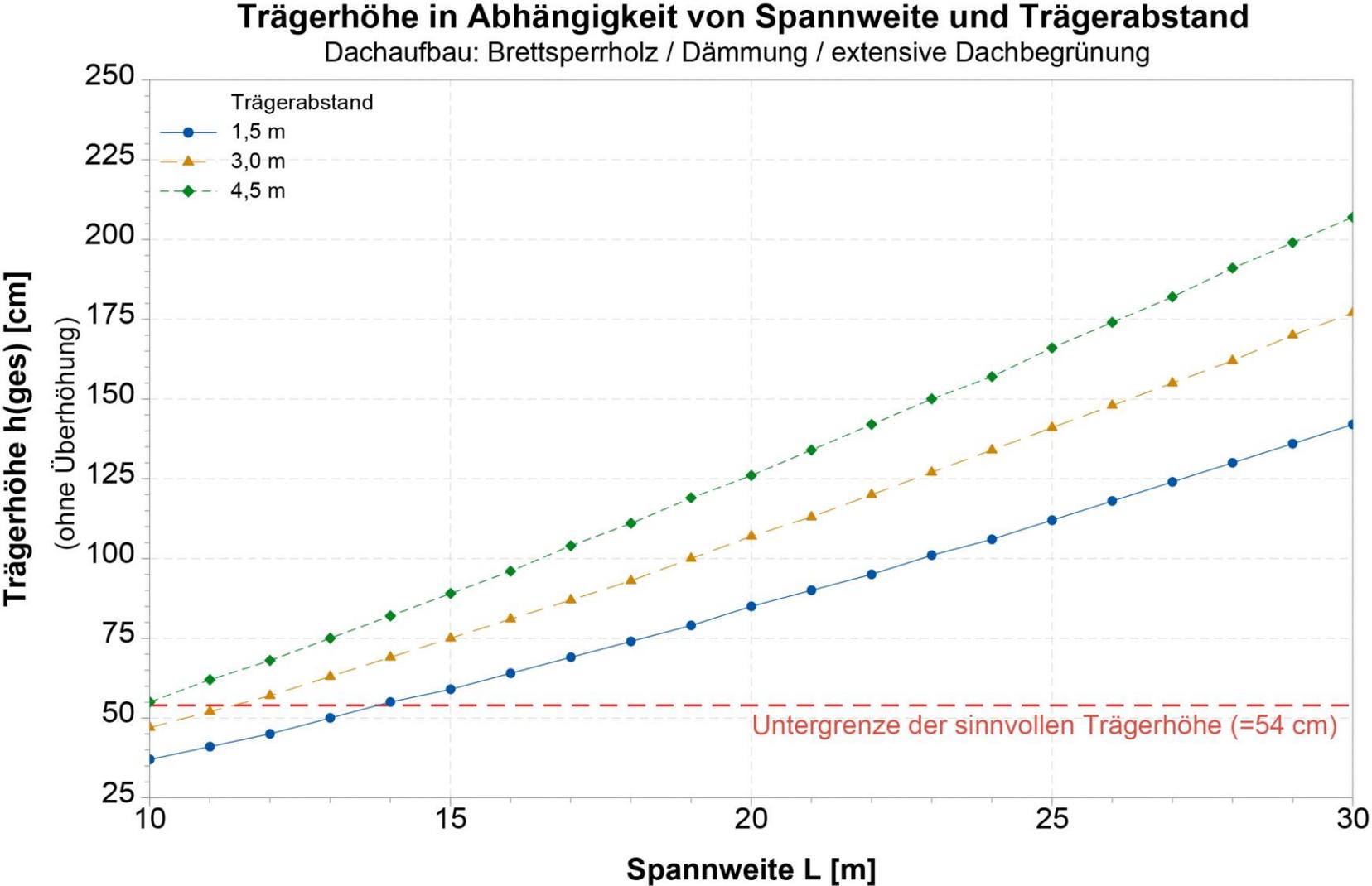
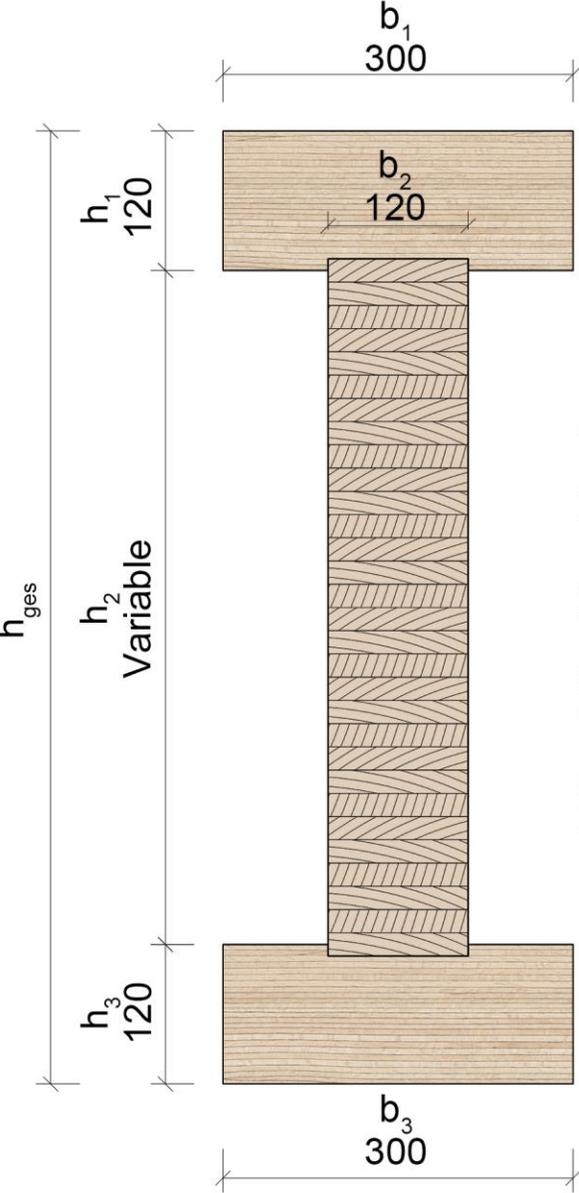
BauBuche GL75
Bu nQ

BauBuche GL75
Bu gQ

Bu nQ
Bu nQ

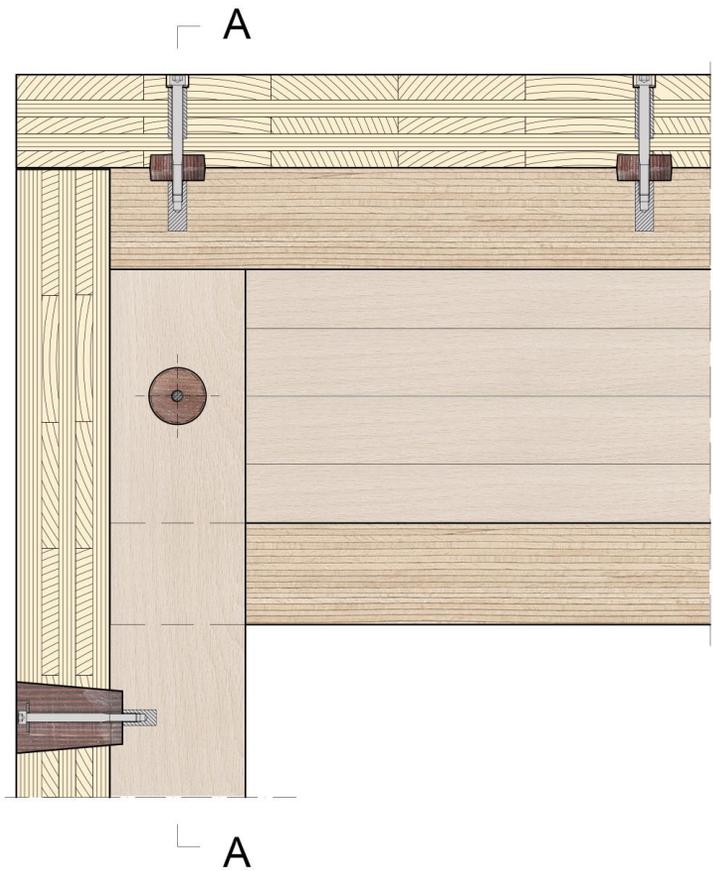
BauBuche GL75
GL24

I-profilierter Trägerhöhen in Abhängigkeit der Spannweite und dem Lasteinzug (ohne Überhöhung)

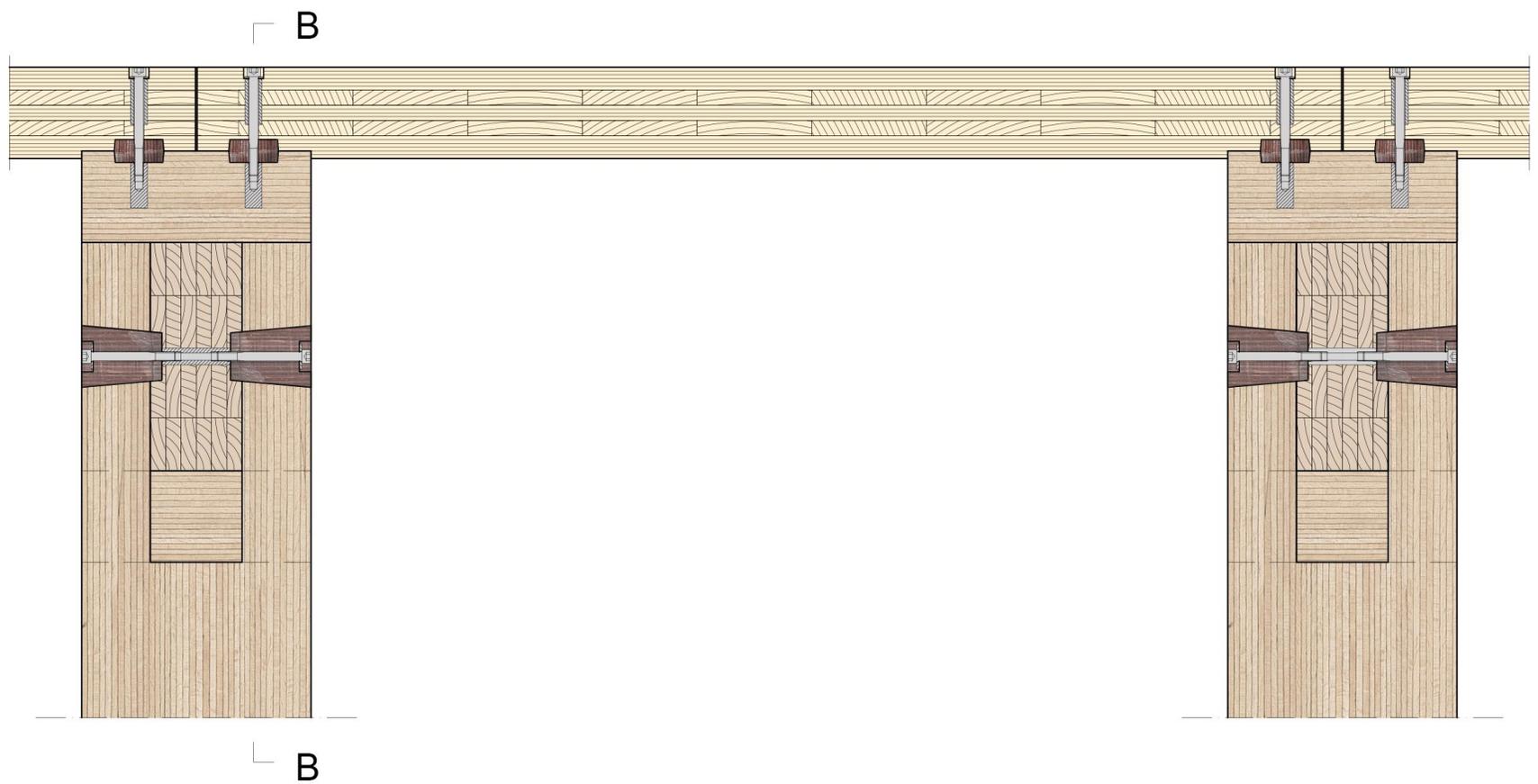


Reversible Verbindungen

Schnitt B-B



Schnitt A-A



Reversible, **formschlüssige** Verbindungen



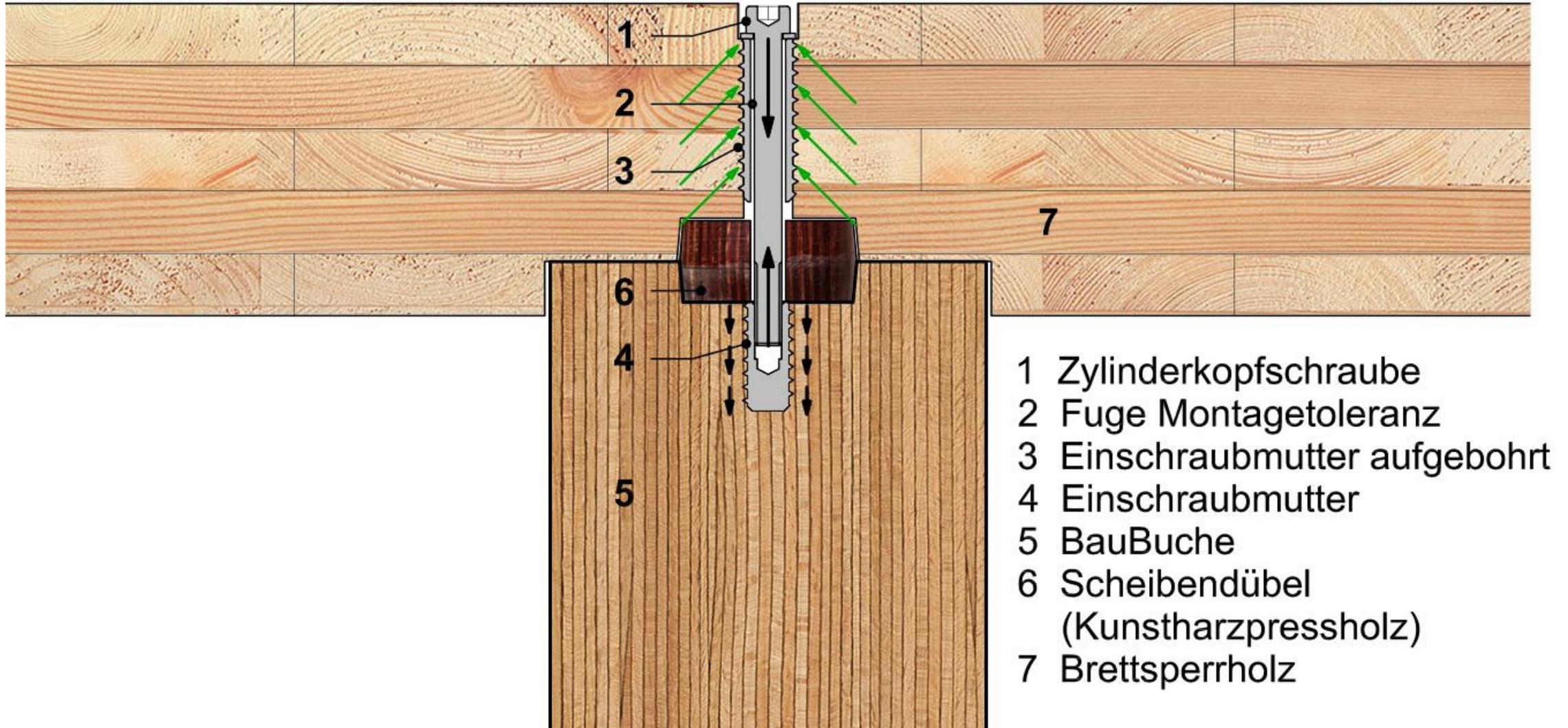
Konusdübel

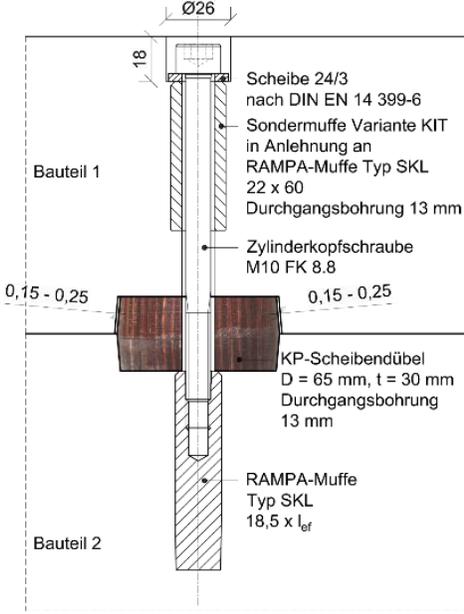


Scheibendübel

Re-Use: Reversible Verbindungen der Bauelemente des Holztragwerks

Neuartiges Verbindungsmittel – Scheibendübel aus Kunstharzpressholz (KP) – Formschluss



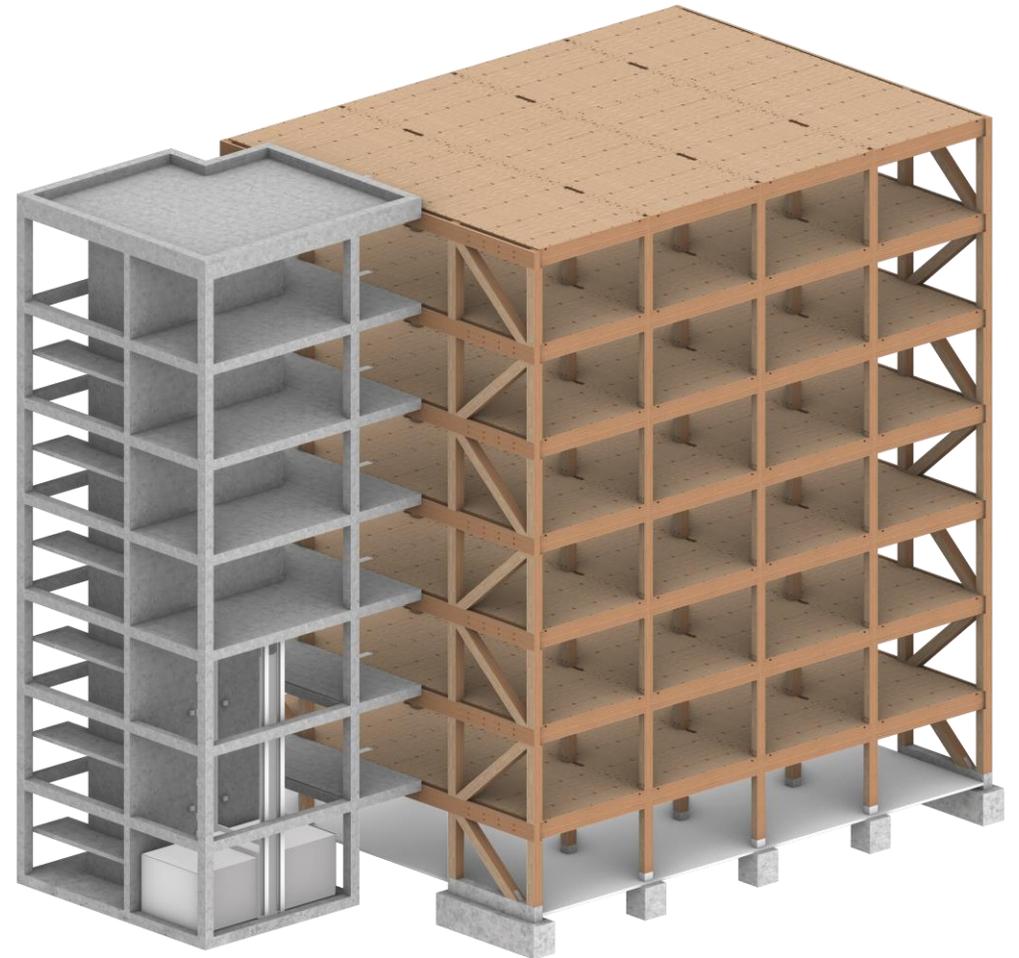
Bauwerk Bauelemente	Verbindung Bauelemente	Verbindung Kraftübertragung	Verbindung Reversibilität	Verbindung Bemessungswerte
<p>Werkhalle (Bild 1)</p> <p>Haupttragwerk: Hauptträger / Dachplatte</p> <p>Hauptträger: I-profilierter Holzträger (Einfeldträger)</p> <p>Dachplatte: Brettsper Holz 5-lagig (Einfeldplatten)</p>	<p>Verbindung Hauptträger / Dachplatte</p> <p>Dachplatte (Bauteil 1) Faserrichtung horizontal</p> <p>I-profilierter Dachträger (Bauteil 2) Faserrichtung horizontal</p>	 <p>KP-Scheibendübel</p> <p>Hersteller: DEUTSCHE HOLZVEREDELUNG Schmeing GmbH & Co. KG Würdinghauser Straße 53 57399 Kirchhundem</p>	 <p>Scheibe 24/3 nach DIN EN 14 399-6 Sondermuffe Variante KIT in Anlehnung an RAMPA-Muffe Typ SKL 22 x 60 Durchgangsbohrung 13 mm</p> <p>Zylinderkopfschraube M10 FK 8.8</p> <p>KP-Scheibendübel D = 65 mm, t = 30 mm Durchgangsbohrung 13 mm</p> <p>RAMPA-Muffe Typ SKL 18,5 x l_{0f}</p>	<p>KP-Scheibendübel: F_{V,k} = 25 kN in Kombination mit: Bauteil 1 / Bauteil 2: Brettsper Holz / BauBuche (Obergurt Hauptträger)</p> <p>Verschiebungsmodul: Mittelwert aus Bauteil 1: K_{ser} = 15,2 kN/mm (Nadelholz / Nadelholz) und Bauteil 2: K_{ser} = 28,7 kN/mm (BauBuche / BauBuche)</p>
L = 30,80 m	Material Bauteil 1 Brettsper Holz C 24	Typ: Dehonit BE 335-1	Zylinderkopfschraube M10 GK 8.8	<p>Verschiebungsmodul Verbindung K_{ser} = 21,95 kN/mm</p>
B = 16,80 m	Material Bauteil 2 BauBuche GL 75	Ø 65 mm Höhe 2 x 15 = 30 mm	Bauteil 1: Sondermuffe RAMPA (Einschraubmutter) SKL 22 x 60 Durchgangsbohrung 13 mm	
H = 8,50 m		Anlauf oben / unten 5°		
Trägerabstand 4,50 m Trägerhöhe 960 mm		Durchgangsbohrung 13 mm		
Dachplattenhöhe 160 mm		Toleranz in Bauteil 1: 0,3 – 0,5 mm	Bauteil 2: RAMPA Muffe SKL 18,5 x 40	

Kreislauffähigkeit – Skelettbau

Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen (HOLZHYBRID)

Fördergeberin:
FNR – Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe
Waldklimafonds

Kreislauffeffektives Raumgerüst für die Nutzungen
Parken, Wohnen und Arbeiten, 2019-22



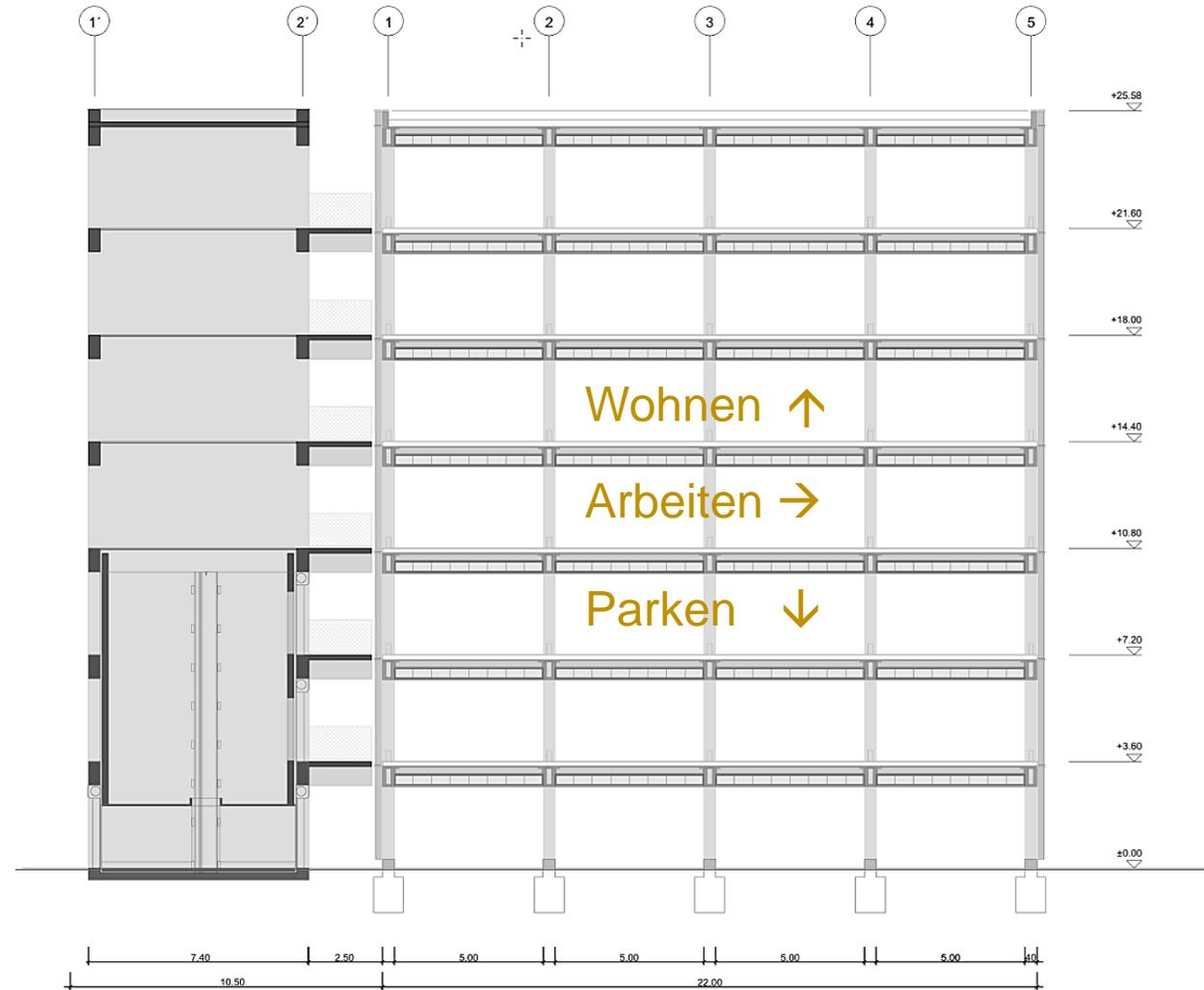
HOLZHYBRID

Beteiligte

- + Projektleitung und reversibles Tragwerk: AG Graf, TUK
- + Kreislaufgerechte Architektur: AG Birk, TUK/ TUM
- + Lösbare Holzverbindungen: AG Blaß, KIT
- + BIM/ Dig. Zwilling: AG Sadegh-Azar, TUK
- + Brand- und Schallschutz: AG Winter, TUM
- + TGA und Energetik: AG Auer, TUM
- + Ökobilanzierung: AG Pauliuk, UNI FR
- + Forstwissenschaft: AG Spiecker, UNI FR

Festgelegte Rahmenbedingungen

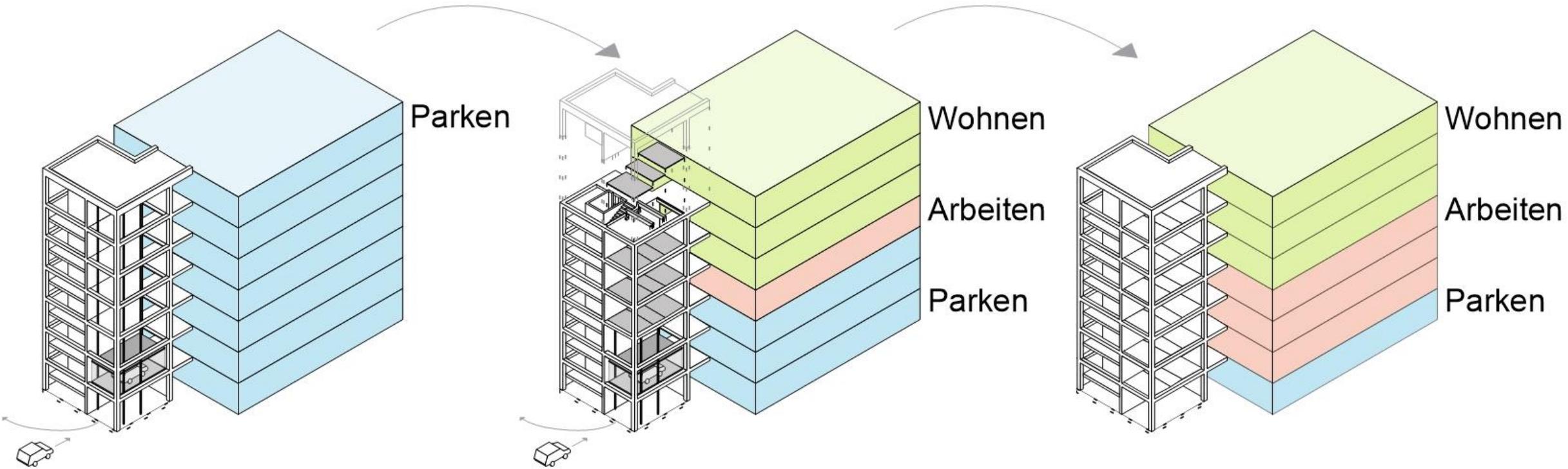
- + Innerstädtischer Baustein, erweiterbar
- + Gebäudeklasse 5, Nutzungseinheit $\leq 400\text{qm}$
- + Ausbaustufen: Parken, Arbeiten, Wohnen
- + Exemplarischer Typ: 3+1+3
- + Vertikalerschließung Autos: Aufzug
- + Reale Planungsanforderungen (Regelwerk, Normen, Richtlinien)
- + Maximale Kreislauffähigkeit

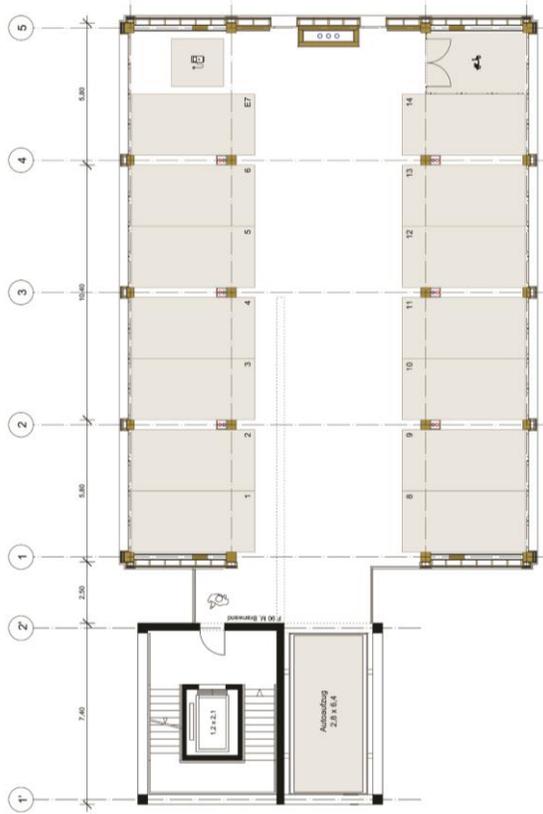


Wandelbarer Holzhybrid



Nutzungsflexibilität





Parken

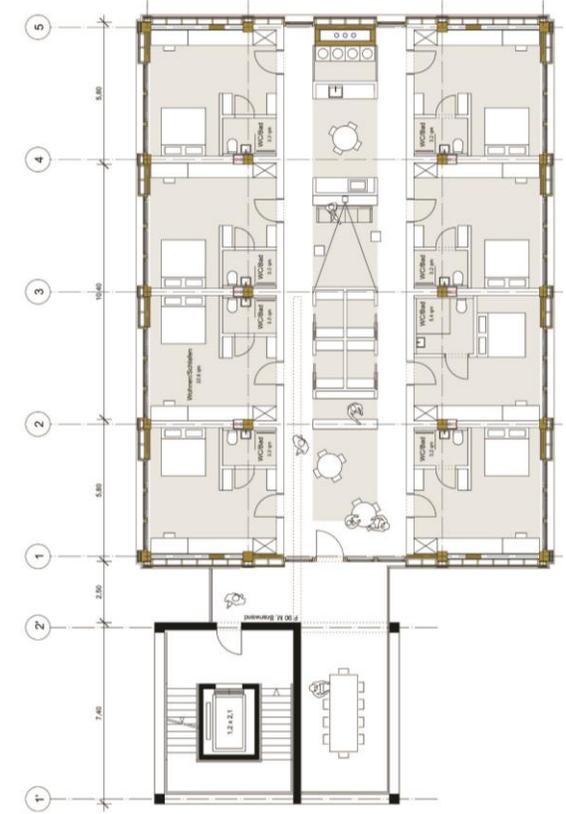
Vertikalerschließung: mit Autoaufzug
 Gebäudehülle: nicht thermisch, Anprallschutz
 Bodenaufbau: CPC-Platte (Wasserführung)
 Innenausbau: keiner
 TGA: gering, dezentrale Schächte

Jürgen Graf, Stephan Birk et al.



Arbeiten

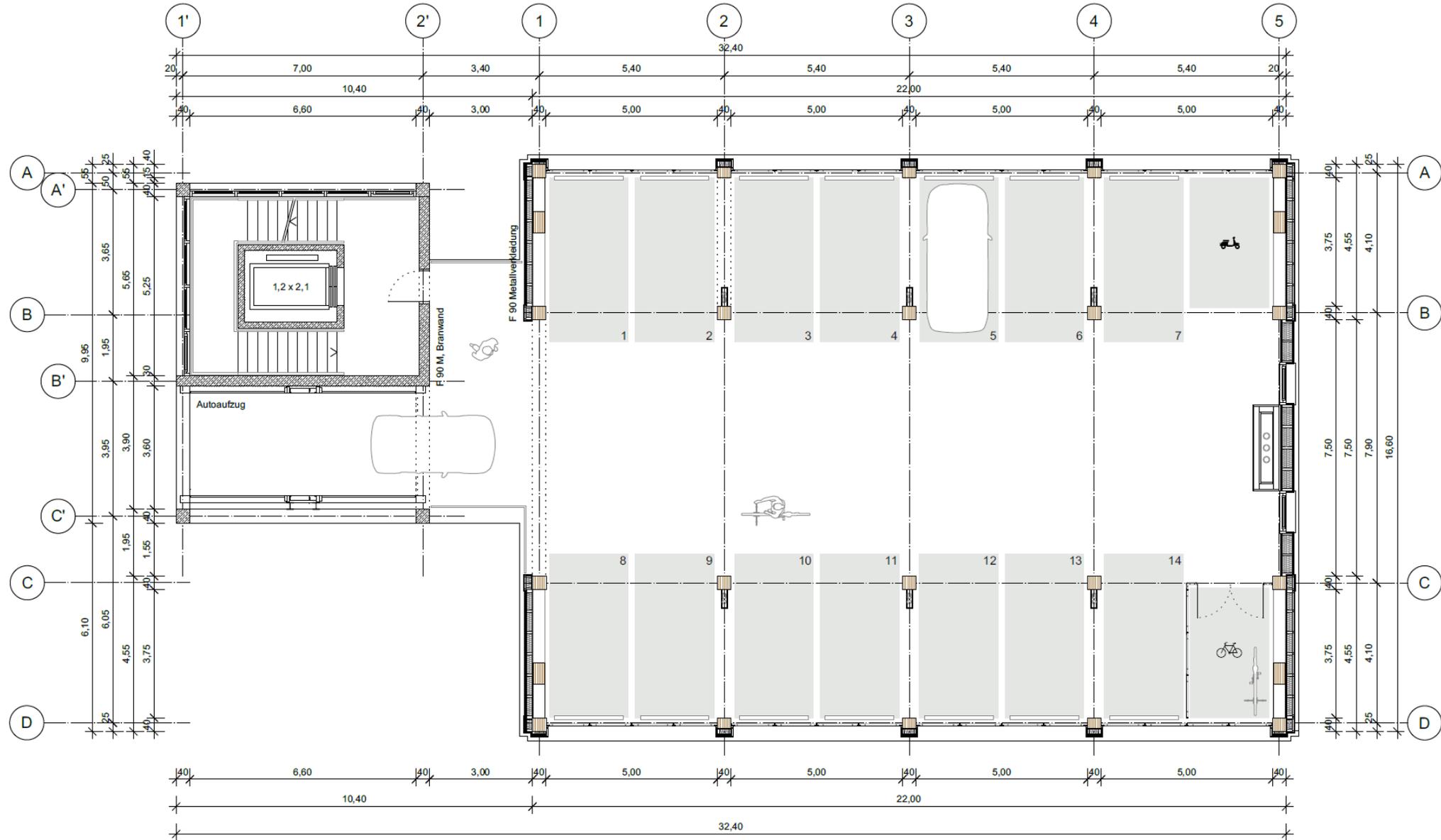
Vertikalerschließung: ohne Autoaufzug
 Gebäudehülle: thermisch
 Bodenaufbau: Trittschall, Lehm, Belag
 Innenausbau: flexibel
 TGA: dezentrale Schächte belegt



Wohnen

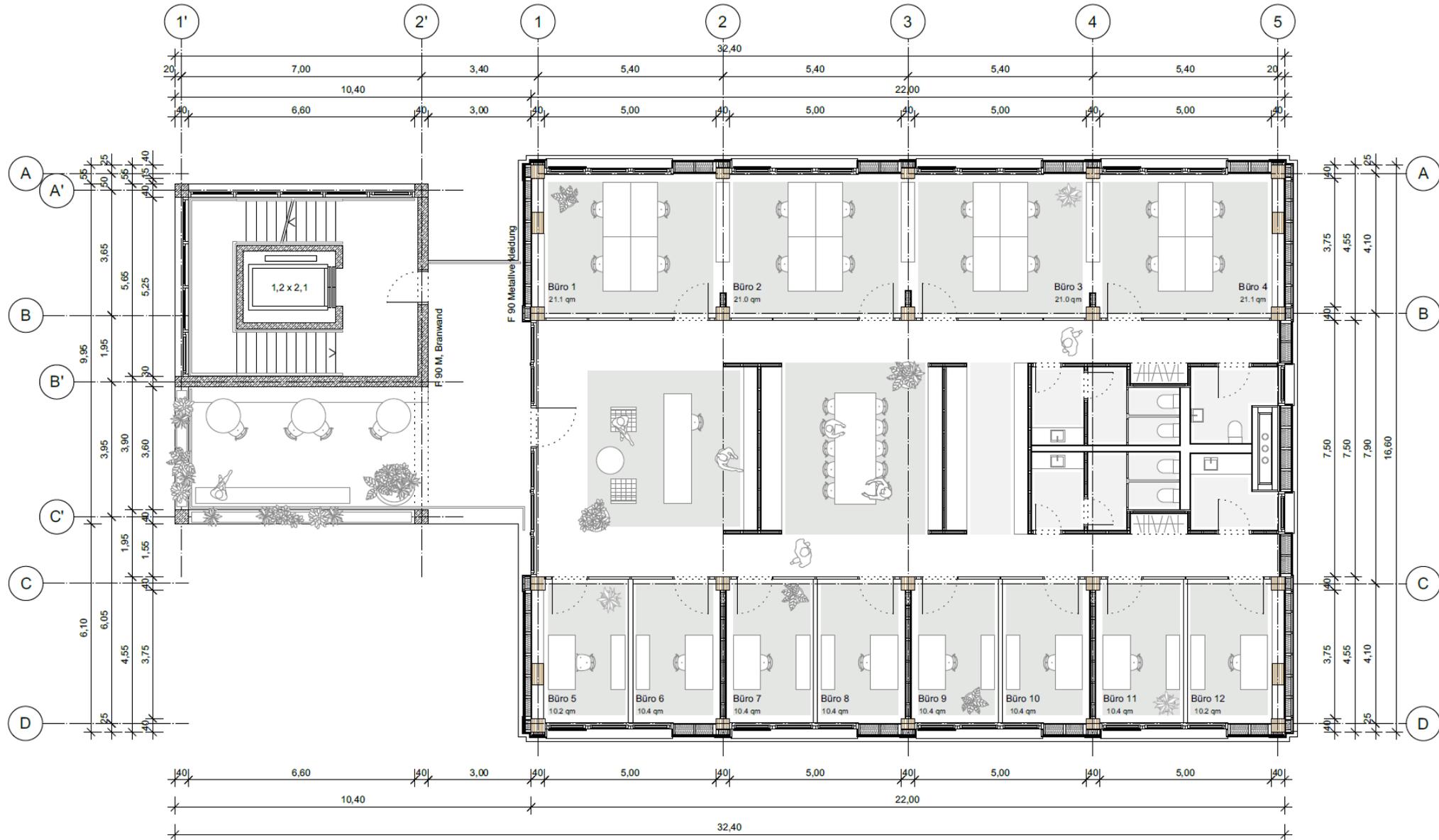
Vertikalerschließung: ohne Autoaufzug
 Gebäudehülle: thermisch
 Bodenaufbau: Trittschall, Lehm, Belag
 Innenausbau: flexibel
 TGA: dezentrale Schächte belegt

Parken



Gebäudeebene – Nutzungsflexibilität

Arbeiten



Gebäudeebene – Nutzungsflexibilität

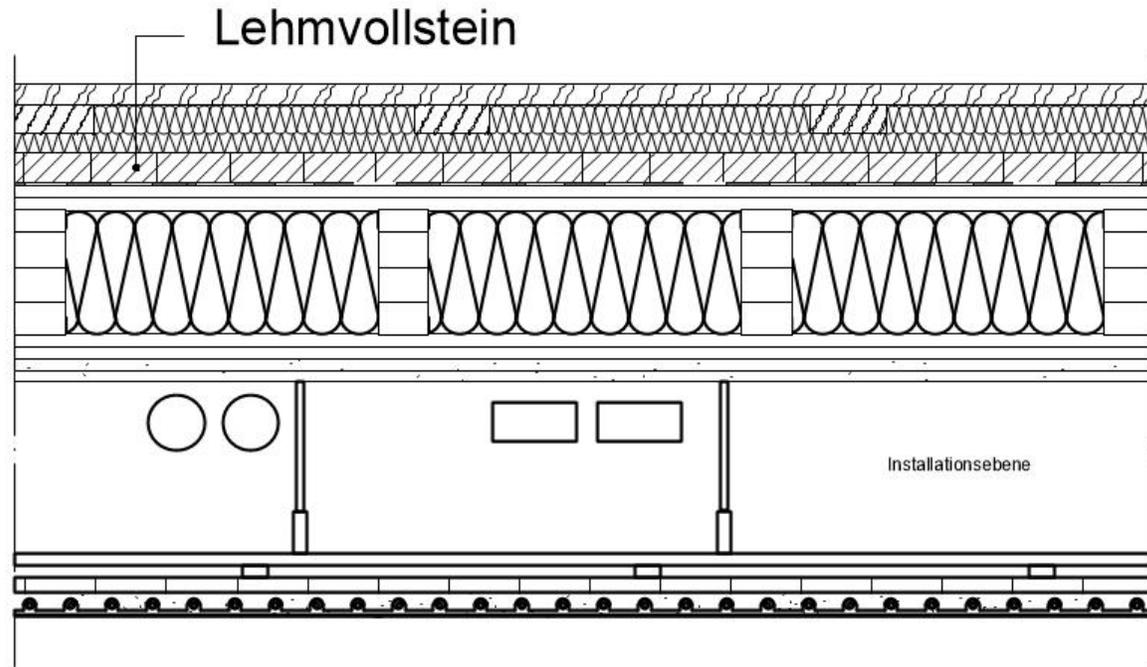
Cluster-Wohnen

Wohnform mit privaten Räumen und Gemeinschaftsflächen

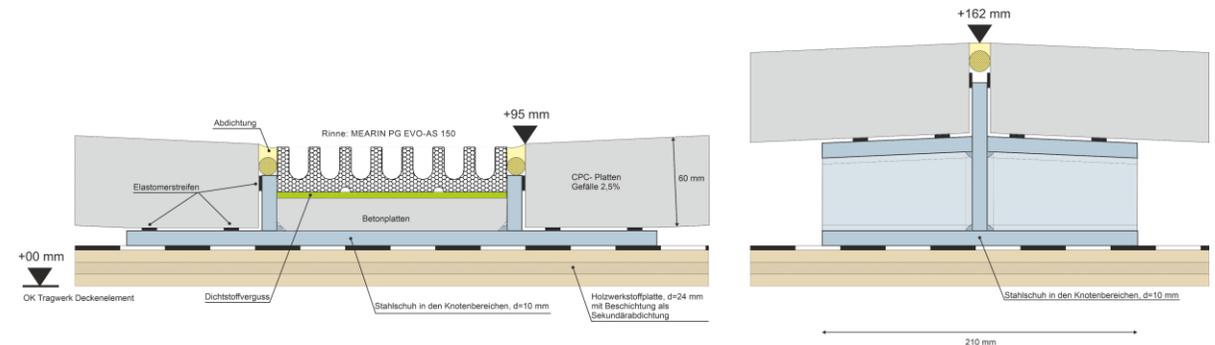
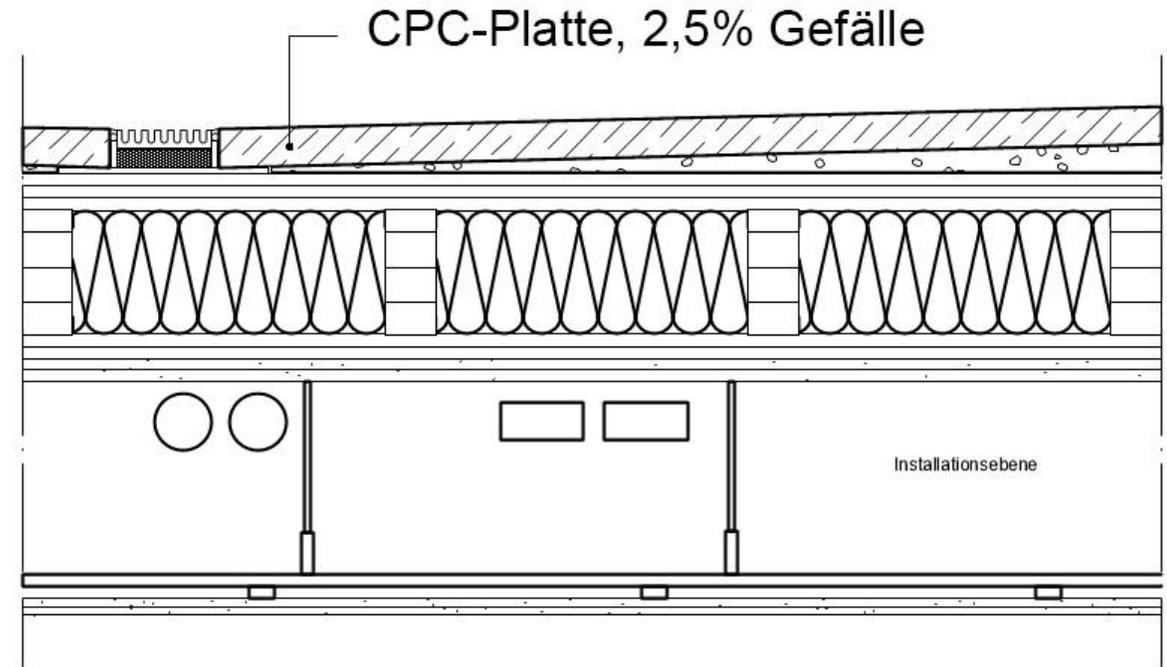


Bodenaufbauten: Wohnen / Arbeiten vs. Parken

Bodenaufbau BA 4: Lehmvollstein



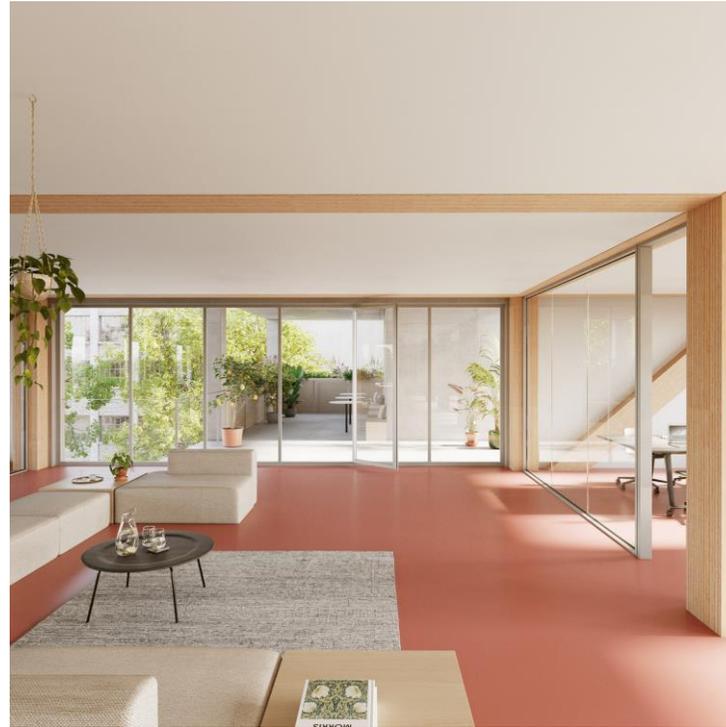
Bodenaufbau BA 6: CPC-Platten



Nutzungsflexibilität



Parken

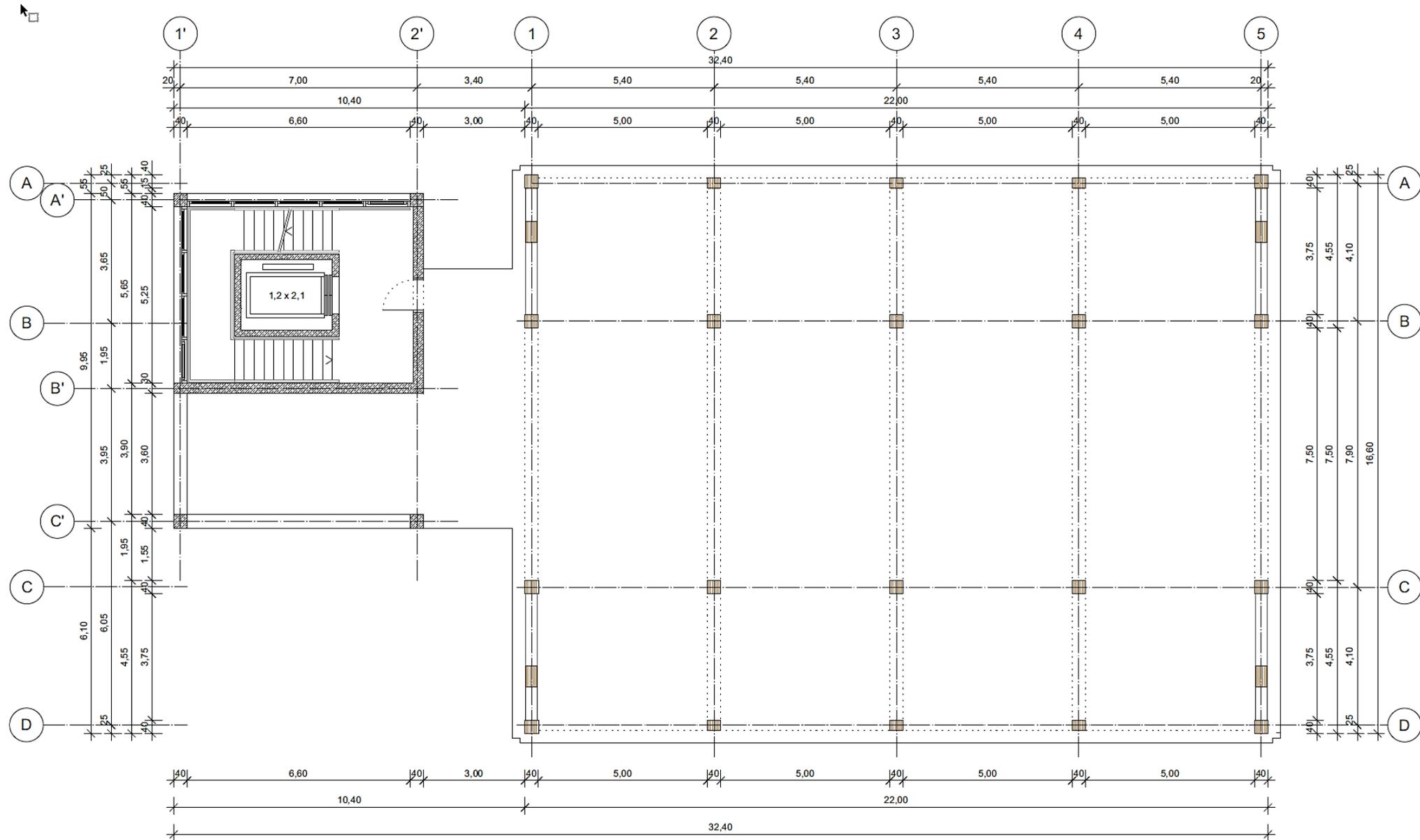


Arbeiten



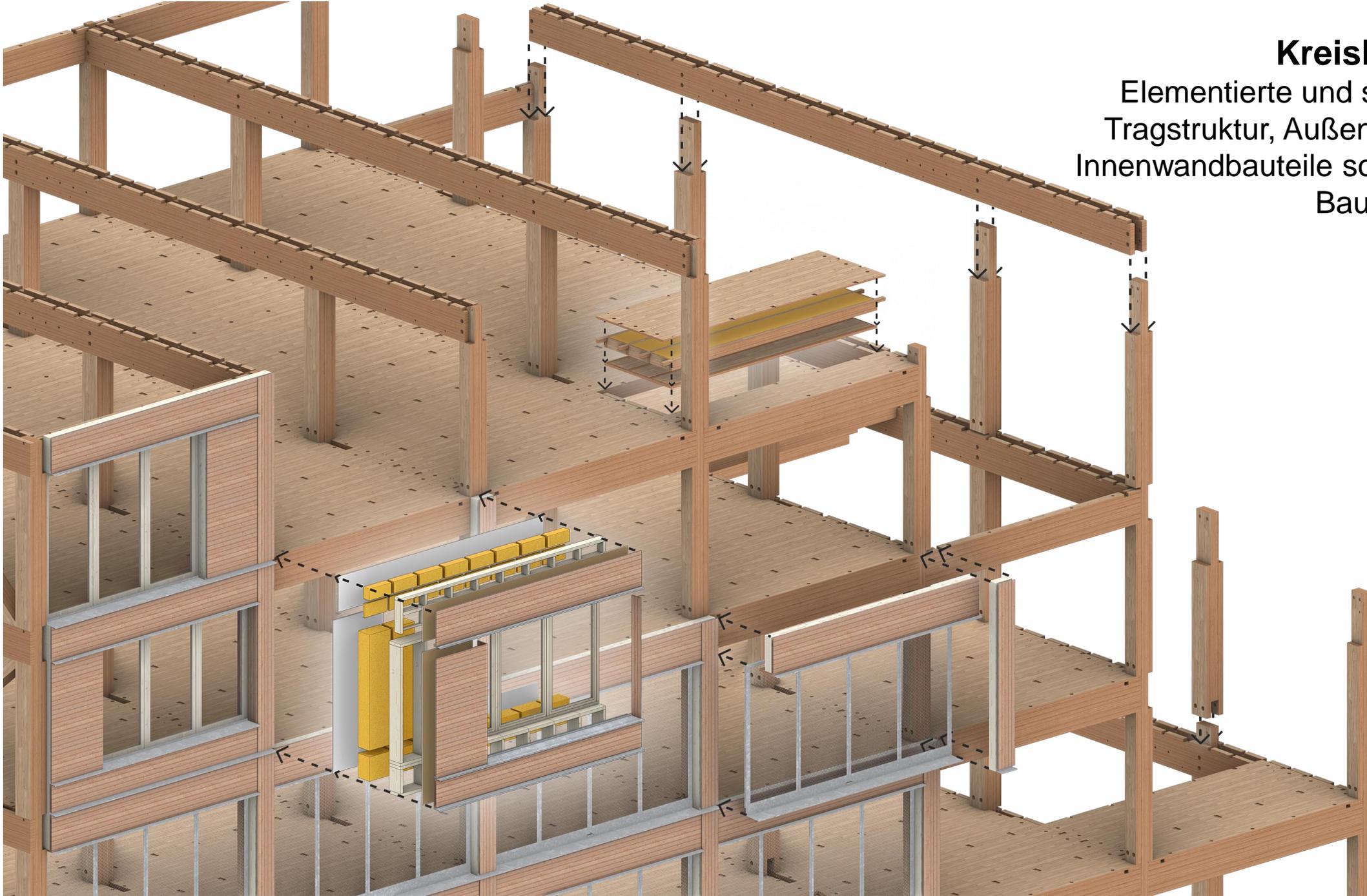
Wohnen

Skelettbau – Bandrastrer 1,25 m und Stützenband 40 cm

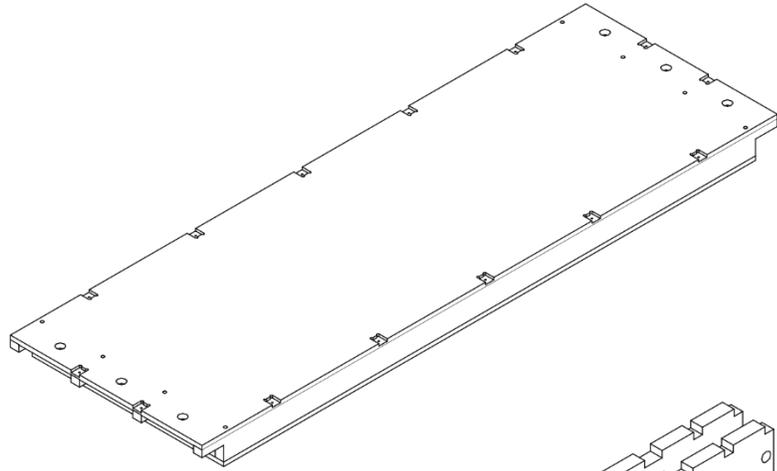


Kreislauffähigkeit

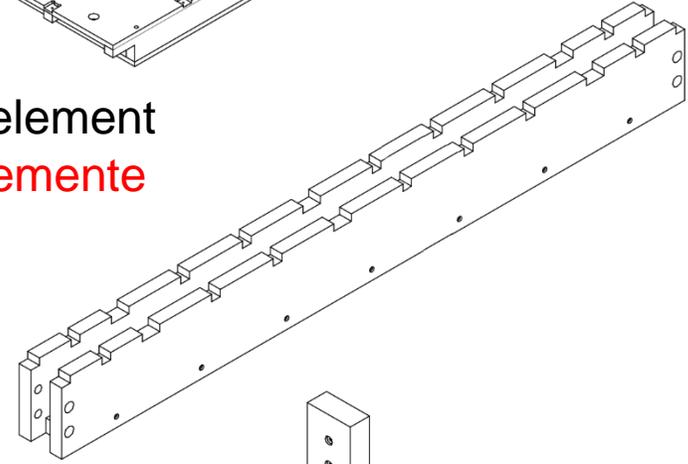
Elementierte und standardisierte
Tragstruktur, Außenwandbauteile,
Innenwandbauteile sowie reversible
Bauteilanschlüsse



Tragwerk – standardisierte Grundelemente



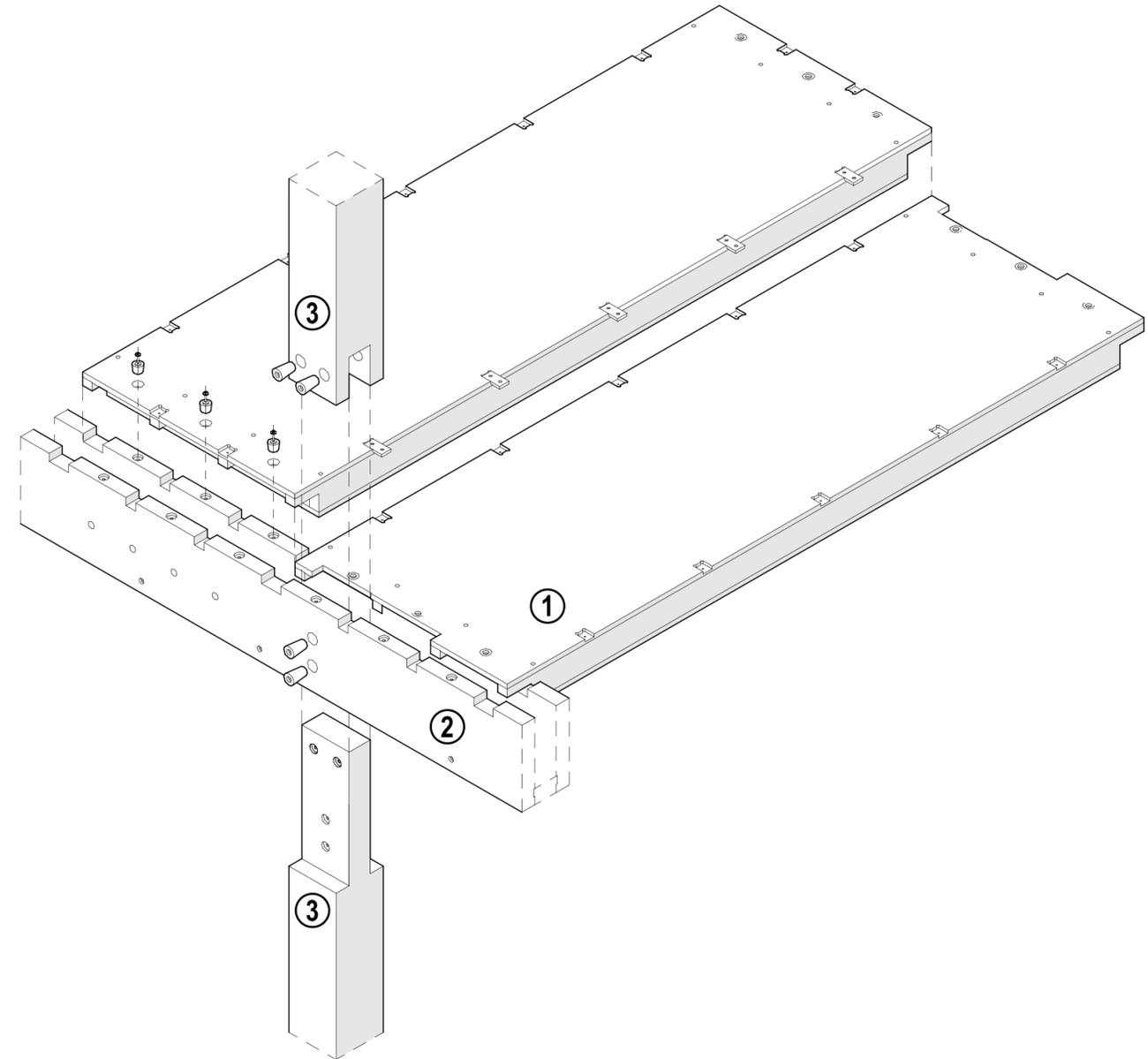
1| Deckenelement
280 Bauelemente



2| Zangenträger
35 Baukomponenten

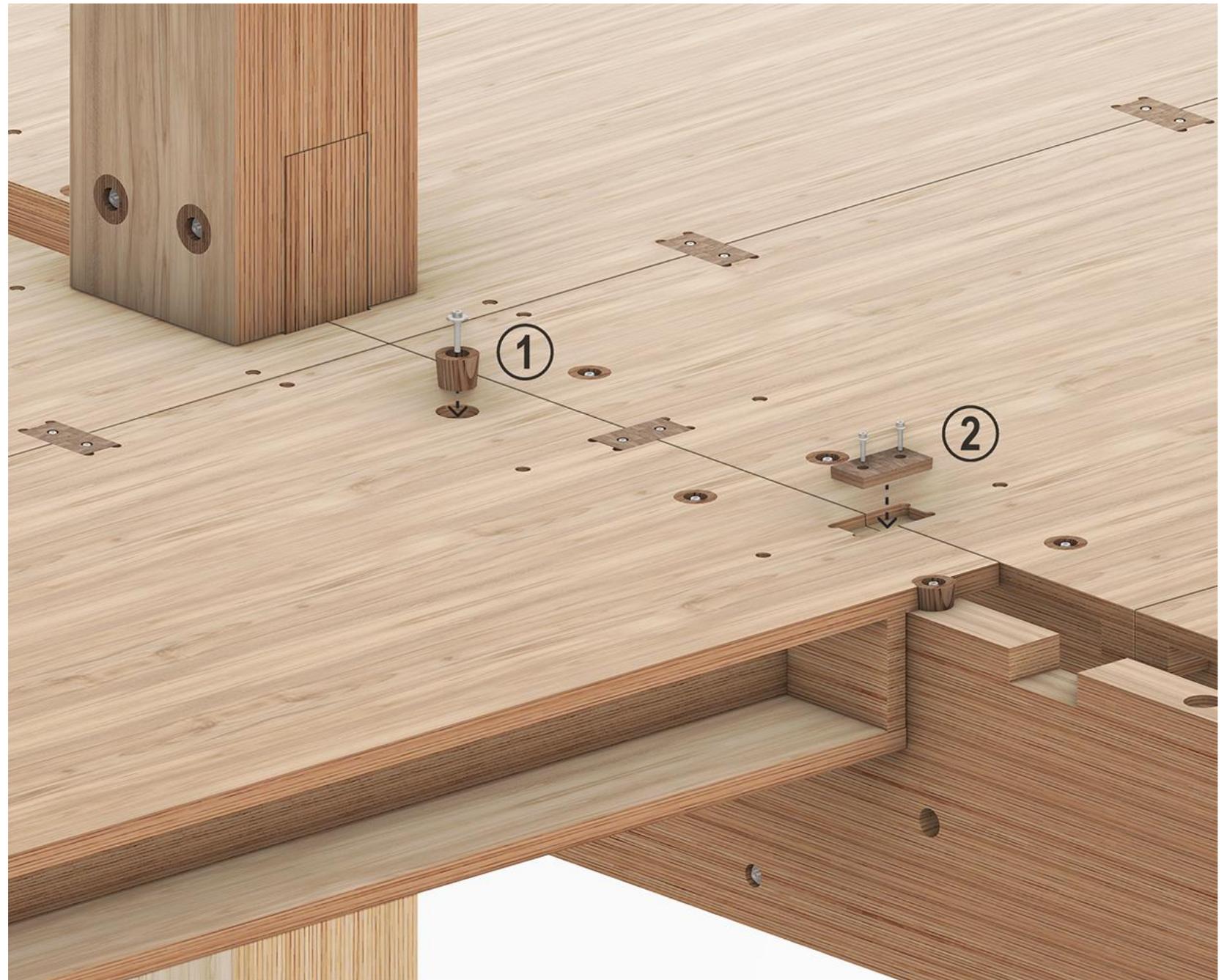


3| Stütze
84 Baukomponenten



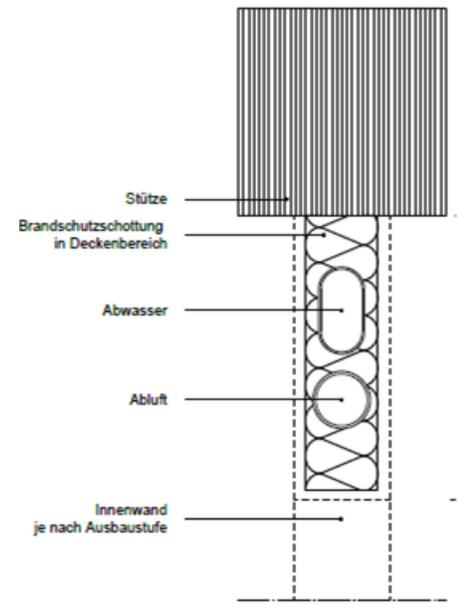
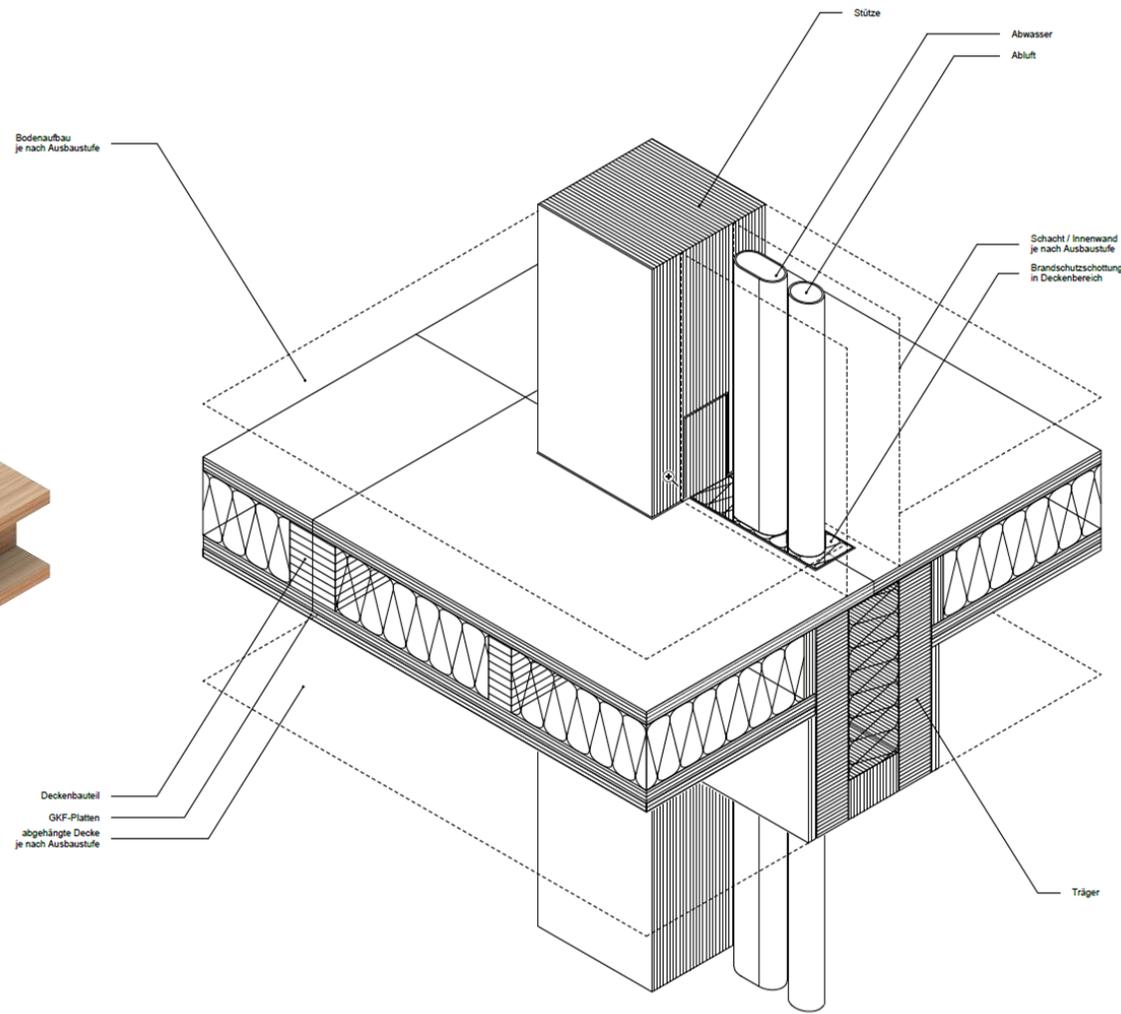
Tragwerk

Reversibilität durch Formschluss



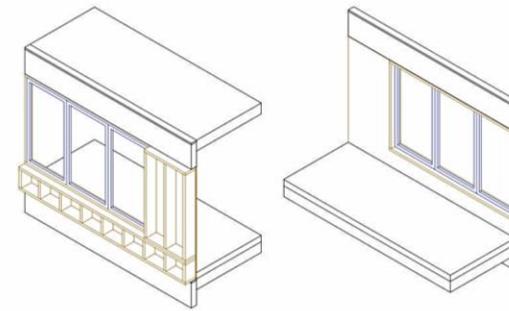
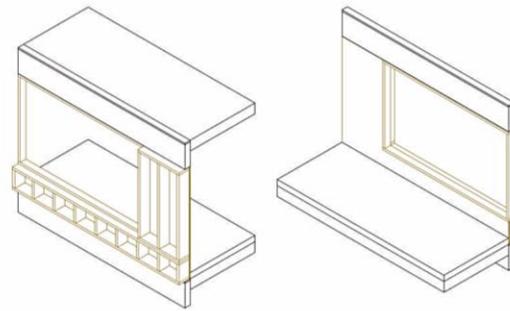
- 1 | Konusdübel
- 2 | Schubverbinder

Integrale TGA

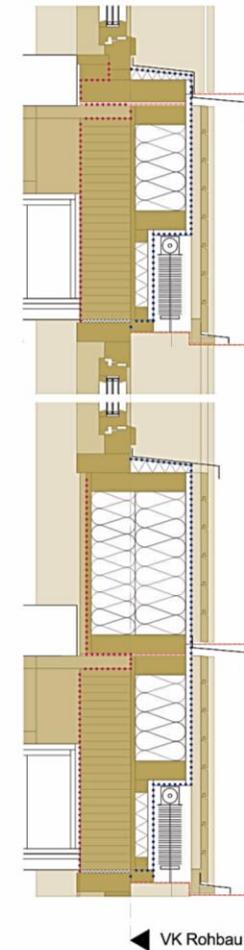
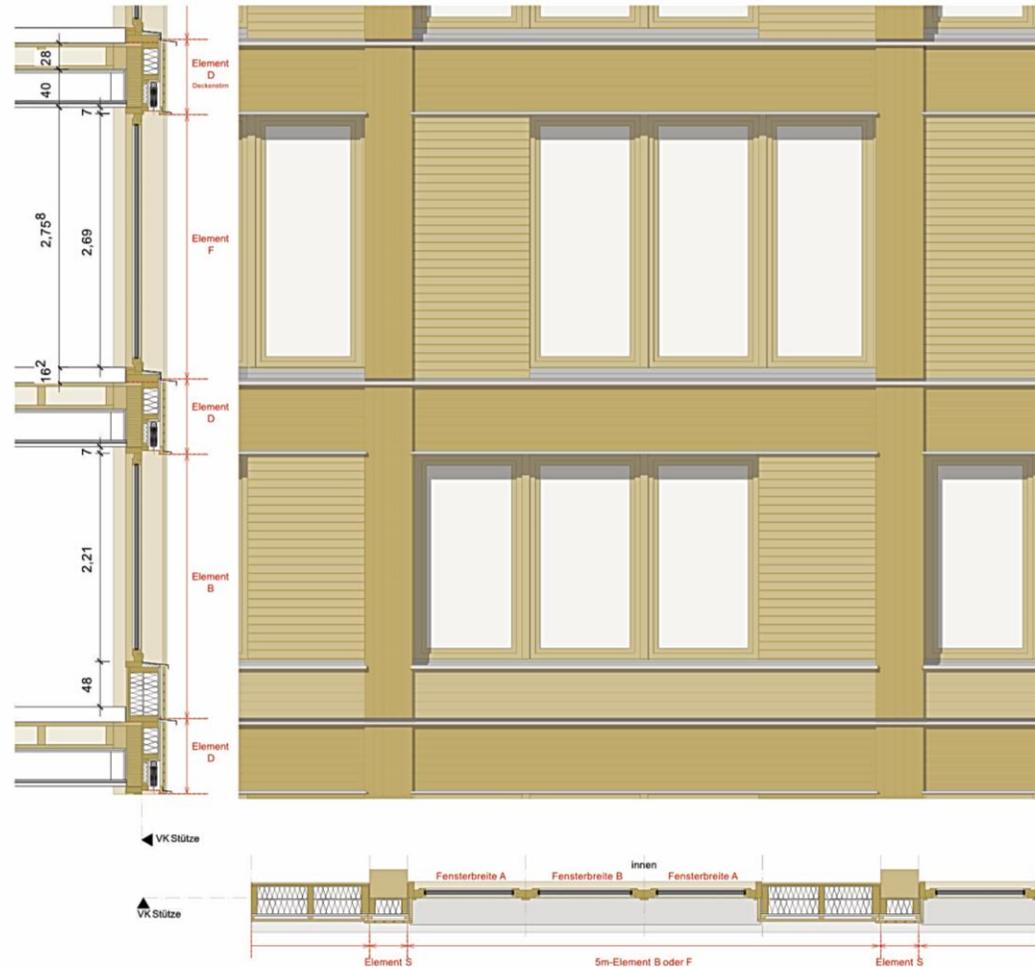


Ebene Bauteil, Bauelement und Komponente

Außenwand

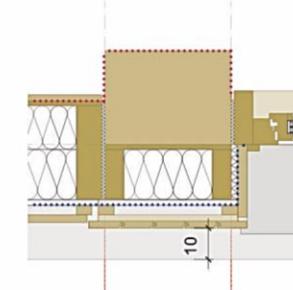


Fassadenelement D / F / B – Innere Bekleidung brennbar (V1)
Dreitafelprojektion, M 1:50



Wandaufbau Fassadenelement D
Holzrahmenkonstruktion
OSB-Platte 15 mm
Holzständer 60/160 mm,
dazwischen Wärmedämmung 160 mm
GKF-/GF-Platte, 1x 18 mm
Fassadenbahn, diffusionsoffen
(Winddichtheit/ 2. wasserführende Ebene)
Lattung 30/50 mm
Fassadenbekleidung, horizontal 22 mm

Wandaufbau Brüstung Fassadenelement B
Holzrahmenkonstruktion
innere Bekleidung Holzoberfläche, 19 mm
OSB-Platte 15 mm
(Dampfbrems-/Luftdichtheitsebene)
Holzständer 60/300 mm,
dazwischen Wärmedämmung 300 mm
GKF-/GF-Platte, 1x 18 mm
Fassadenbahn, diffusionsoffen
(Winddichtheit/ 2. wasserführende Ebene)
Lattung 30/50 mm
Fassadenbekleidung, horizontal 22 mm



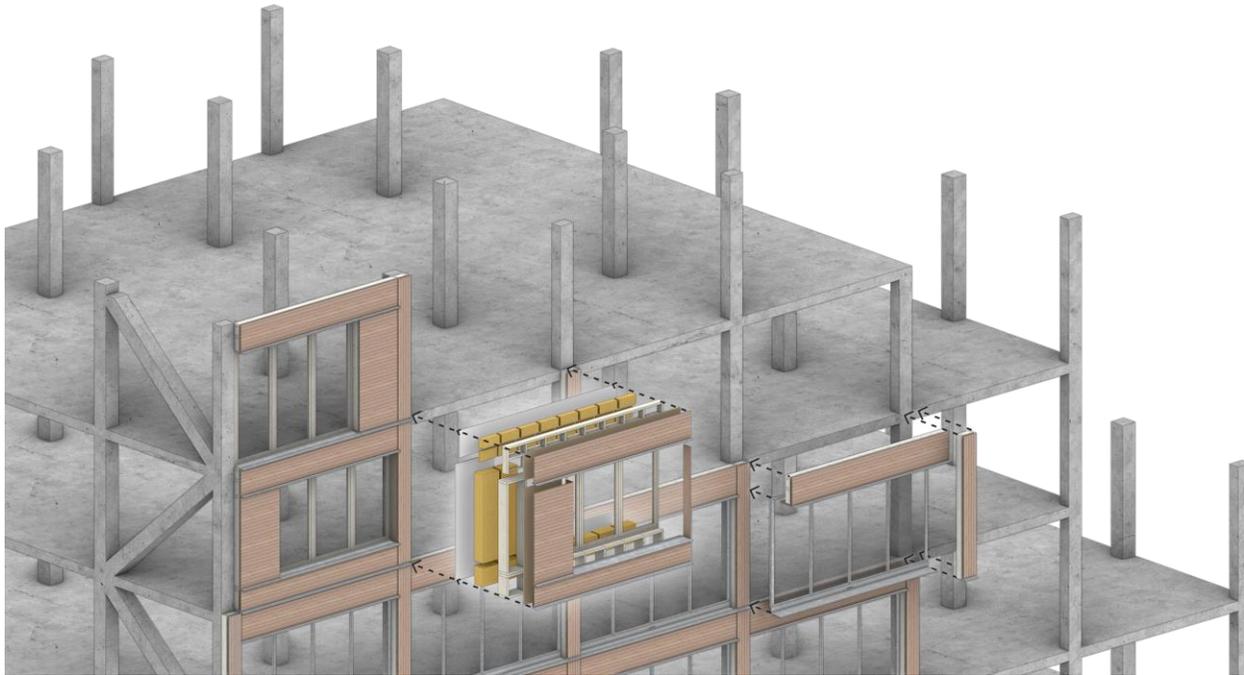
Vergleichende Ökobilanz von vier Gebäudevarianten über deren Lebenszyklus

Referenz: Stahlbetonskelett*

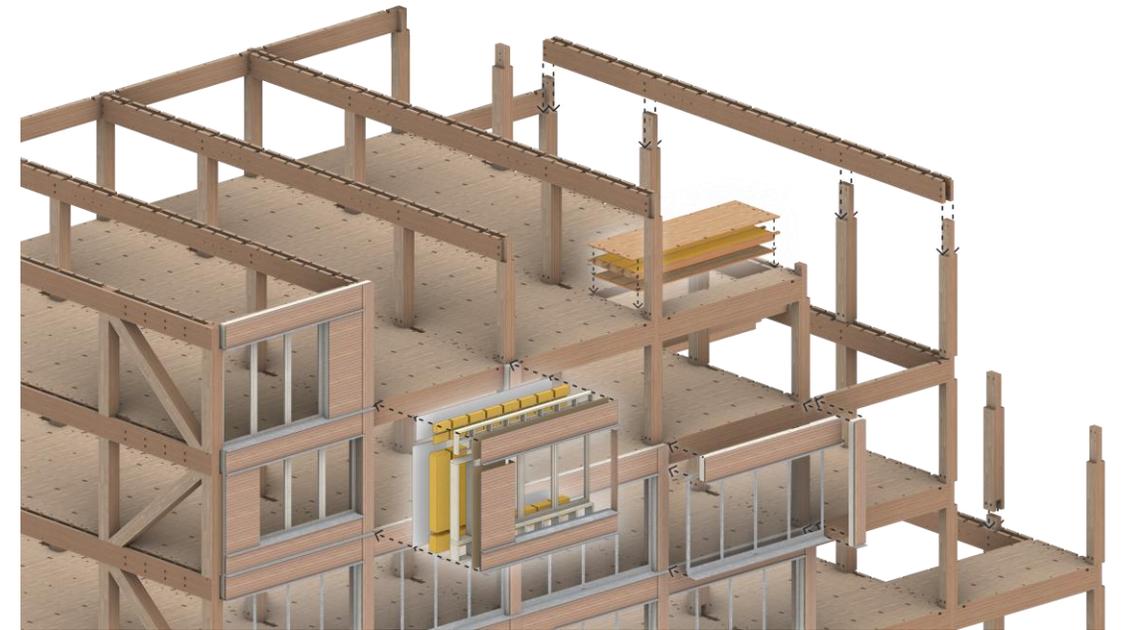
Decke 25 cm als Flachdecke

Stütze 40/40 cm im Abstand
des Holzhybrids

Außenwände aus Holzbauteilen
wie beim Holzhybrid



Holzhybrid Kreislauf*



Vergleichende Ökobilanz von vier Gebäudevarianten über deren Lebenszyklus

Szenarien:

Stahlbetonskelett*: Zwischen Nutzung 1 und 2 wird das Gebäude abgerissen und neu aufgebaut.

Holzhybrid Abriss*: Zwischen Nutzung 1 und 2 wird das Gebäude abgerissen und neu aufgebaut.

Holzhybrid*: Zwischen Nutzung 1 und 2 findet ein Umbau statt.

Holzhybrid Kreislauf*: Zwischen Nutzung 1 und 2 findet ein Umbau statt. Das Gebäude ist gebettet in eine idealisierte Kreislaufwirtschaft, d.h. ein Teil der Inputströme stammt aus Sekundärmaterial.

Allgemein:

Alle vier Varianten haben dieselbe funktionelle Einheit*:
25 Jahre Nutzung 1 (7 Geschosse Parken), 25 Jahre Nutzung 2 (3 Geschosse Parken, 1 Geschoss Arbeiten, 3 Geschosse Wohnen)

Indikatoren:

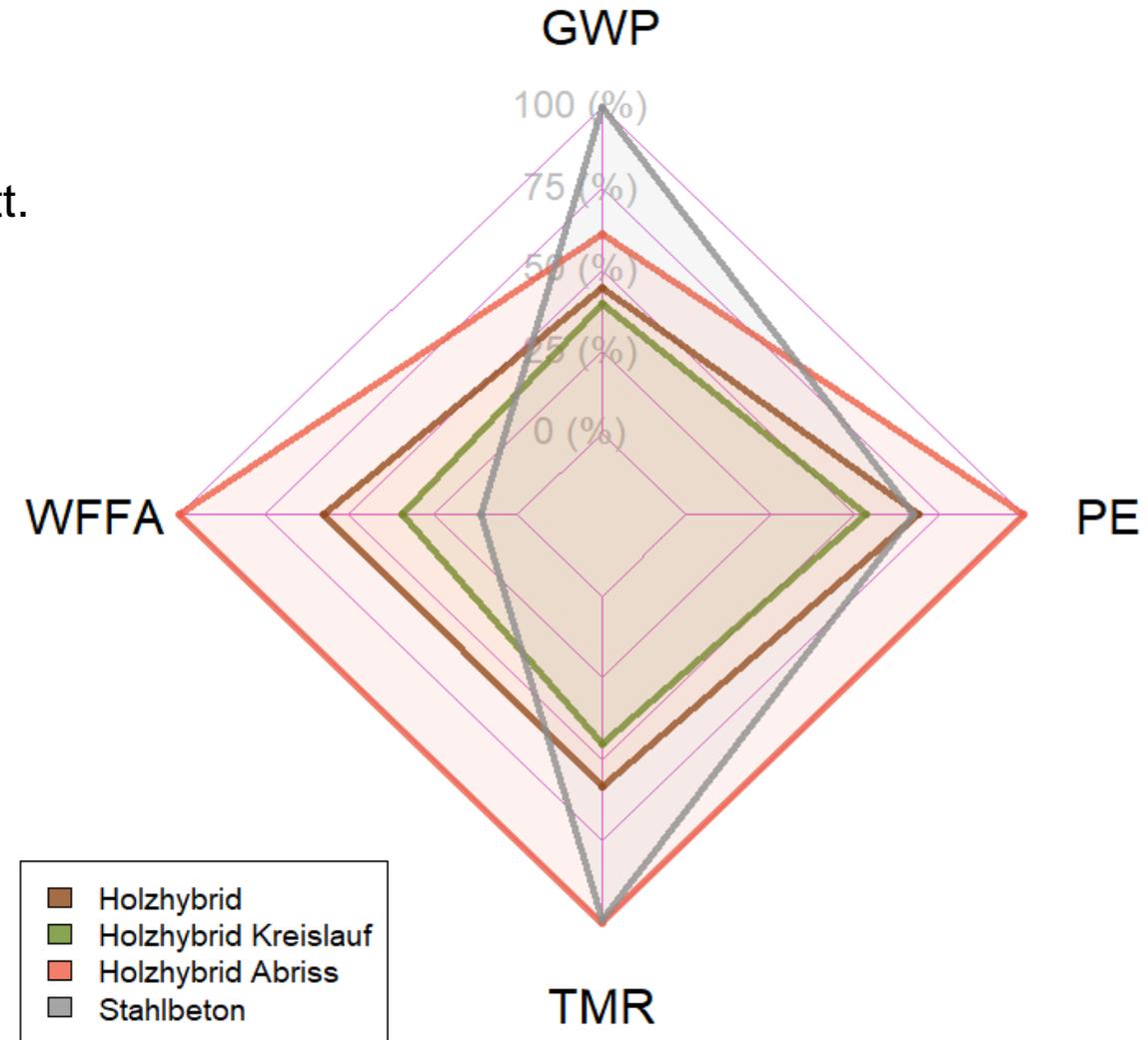
Treibhauspotential (GWP)

Primärenergiebedarf (PE)

Gesamter Materialbedarf / Total Material Requirement (TMR)

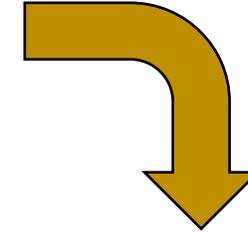
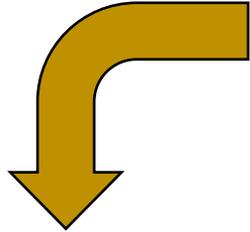
Waldflächenfußabdruck (WFFA)

Aggregierte Indikatorwerte des Lebenszyklus (A-C)

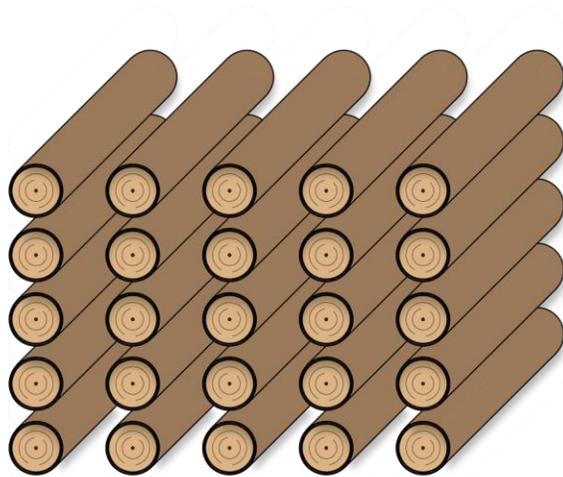


Waldflächenfußabdruck (WFFA)

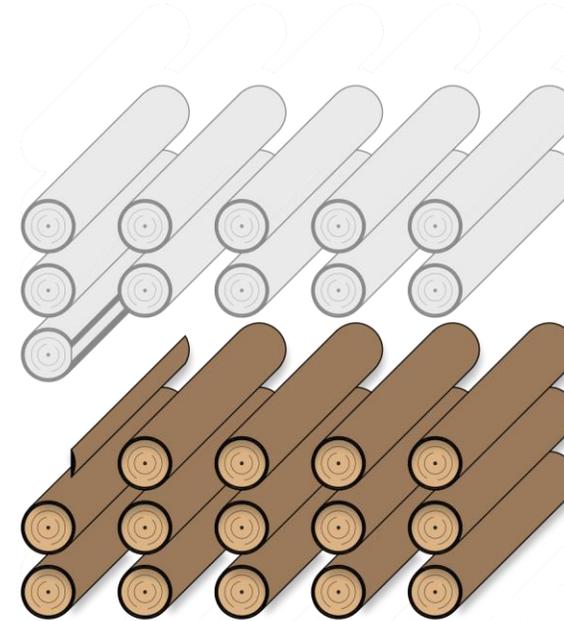
**Holzhybrid
mit Abriss
und Neubau
statt Umbau**



**Holzhybrid
Nutzungsflexibilität**



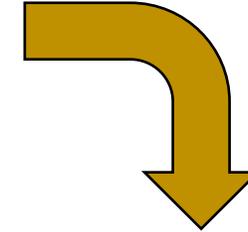
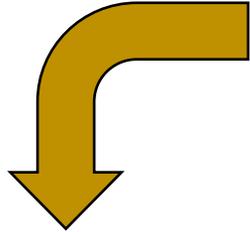
100%



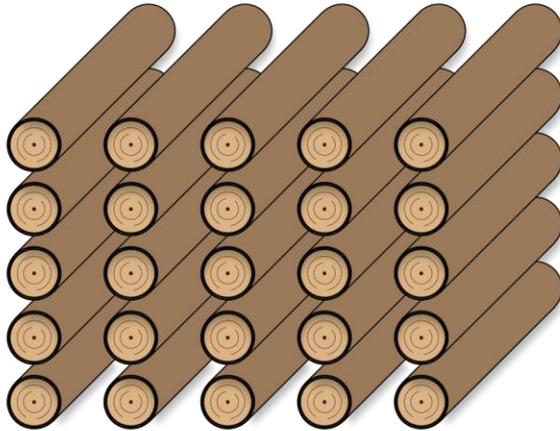
57%

Waldflächenfußabdruck (WFFA)

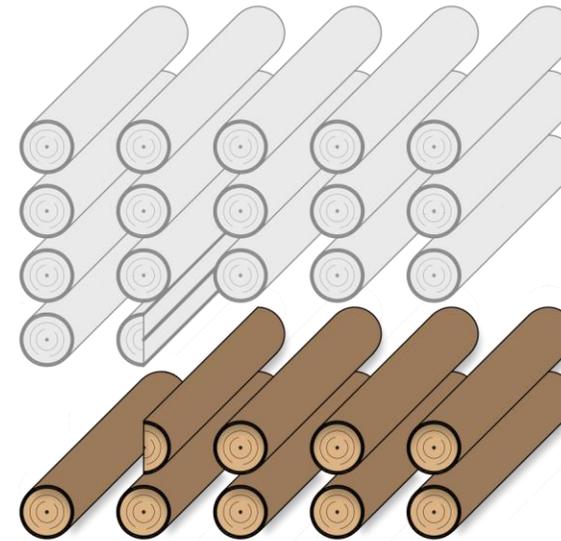
**Holzhybrid
mit Abriss
und Neubau
statt Umbau**



**Holzhybrid
Nutzungsflexibilität
Wiederverwendung**



100%



34%

Vergleichende Ökobilanz von vier Gebäudevarianten über deren Lebenszyklus

Maßnahme Referenz: Stahlbetonskelett*	Einfluss	Einsparpotential gegenüber Stahlbetonskelett* [%]			
		GWP	WFFA	TMR	PE
Verwendung von Holz	Weniger Masse, andere Materialien	39	-829	-1	-49
Nutzungsflexibilität	Geringerer Materialaufwand durch Umbau	16	395	42	47
Zwischenergebnis		55	-434	41	-2
Wiederverwendung von Bauelementen	Wiederverwendung nach Lebenszyklusende	5	215	13	23
Gesamt		60	-219	54	21

Überschlagsrechnung: Um alle jährlich neu erbauten Wohnflächen (im Jahr 2020 waren das laut dem Statistischen Bundesamt ca. 28 Millionen m²) mit kreislaueffektiven Holzhybriden bauen zu können, würde die Rundholzernte von ca. 1/3 der bewirtschafteten Waldfläche in Deutschland benötigt. **Das wäre umsetzbar!**

