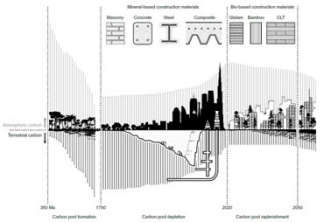
Kreislaufeffektive Bauwende mit Holz

Prof. Stephan Birk, 19. September 2022

1

Ausgangsthese

Um das 1.5°C-Ziel des Pariser Abkommens aus dem Jahr 2015 in Reichweite zu halten, bedarf es einer **disruptiven Veränderung des Bauwesens**. Die Umsetzung kann durch eine **kreislaufeffektive Bauwende mit Holz** gelingen.
Dies bedeutet u.a., wo immer es möglich ist, sind energieaufwändig hergestellte Bauprodukte durch **biobasierte Baustoffe** zu substituieren, Entwurf und Konstruktion von Gebäuden sind kreislauffähig zu entwickeln.

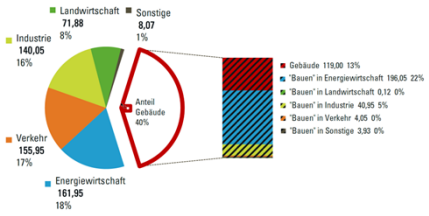


Quelle Abbildung: Churkina, G. et al. (2020) Buildings as a global carbon sink, nature

2

Anteil Gebäudesektor…

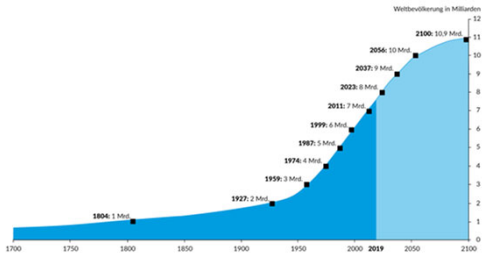
- Treibhausgasemissionen (CO2) 40%
- Primärrohstoffverbrauch 50%
- Primärenergieverbrauch 50%
- Festmüllaufkommen 36%



THG-Emissionen in Mio t CO2-Äquivalent - ∑ 902,0 | Quelle: BBSR-Online-Publikation Nr. 17/2020

3

Bevölkerungsentwicklung



Quelle: Deutsche Stiftung Weltbevölkerung (DSW) / Vereinte Nationen (2019) World Population Prospects

4

Bauwende

»Die Baubranche ist der Hauptverursacher für den enormen Ressourcen- und Energieverbrauch in Deutschland. Wir fordern daher alle Aktiven der Baubranche auf:

1. Hinterfragt Abriss kritisch
2. Wählt gesunde und klimapositive Materialien
3. Entwerft für eine offene Gesellschaft
4. Konstruiert kreislaufgerecht
5. Vermeidet Downcycling
6. Nutzt urbane Minen
7. Erhaltet und schafft biodiversen Lebensraum«

Quelle: architectsforfuture e.V.

5

Potential Holz

Waldspeicher	Produktspeicher	Stoffliche Substitution	Energetische Substitution
Nachhaltig bewirtschafteter Wald	Holzprodukte	Holzprodukte	Holzprodukte
CO_2-Senkenwirkung 46% bei Biomassenzuwachs; Quellenwirkung bei Biomassenabnahme	CO_2-Senkenwirkung 2% verzögerte Freisetzung von biogenem Kohlenstoff	CO_2-Senkenwirkung 24% Ersatz energieaufwändig hergestellter Bauprodukte (Bereitstellung und Verbrauch)	CO_2-Senkenwirkung 28% Vermeidung fossiler Emissionen: Verbrennung des nachwachsenden Rohstoffs Holz

Quelle der Wirkungsanteile in %: Bauhus, J. et al. (2017) Beiträge der Forst- und Holzwirtschaft zum Klimaschutz. AFZ-Der Wald 3/2017

6

Potential Holz

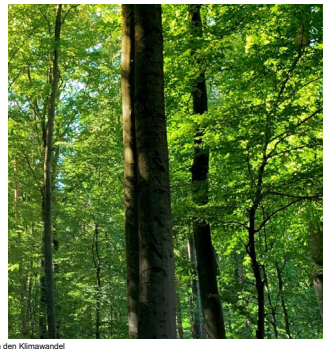
Holz und Holzwerkstoffe sind hervorragend geeignet, eine wesentliche Rolle bei der Bauwende zu spielen. Der Holzbau hat seit der Jahrtausendwende eine entscheidende Entwicklung vollzogen. **Wir haben das Wissen, die Technik, das Regelwerk und die Ressourcen, mehrgeschossig, sicher und langlebig mit Holz zu bauen.**
Bei steigender Holzbauquote besteht die Notwendigkeit der **kaskadischen Nutzung** und eines **ressourcenoptimierten Einsatzes.**

7

Wald: Anpassung an Klimawandel

Gutachten WBW: Handlungsempfehlungen (für 13 Handlungsfelder) wesentliche Einflussmöglichkeiten zur **Aufrechterhaltung und Verbesserung** der Bereitstellung der **Ökosystemleistungen des Waldes im Klimawandel**.

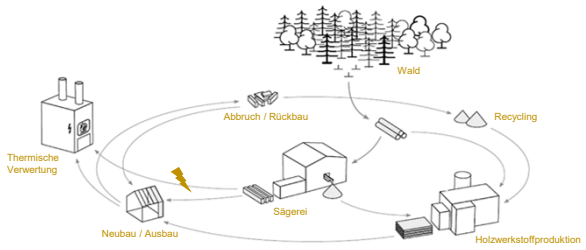
Eine der Empfehlungen ist es, nachhaltige Holzverwendung fördern:
»**Steigerung der Holzbauquote** durch sofortige Umsetzung von möglichst zahlreichen Holzbauten im mehrgeschossigen Wohn-, sowie im Gewerbe-, Büro- und Industriebau bis 2050 ist eine **aktive Klimaschutzleistung durch stoffliche Substitution und Erhöhung des Kohlenstoffspeichers**«



Quelle: Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik (2021) Die Anpassung der Wälder an den Klimawandel

8

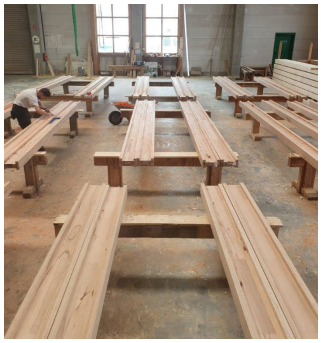
Materialkreislauf: Wald, Holz und Energie



Quelle: Holzforschung München (2010)

9

STABU



Standardisierte Buchenholz-Hybridträger großer Spannweite (STABU)

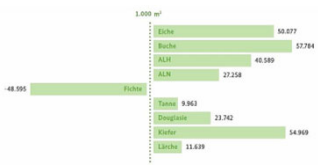
Fördergeberin:
FNR – Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe

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

Graf J., Birk S. et al.

10

Veränderung Wälder



Veränderung Holzvorrat 2002-12

Heutige Waldgeneration

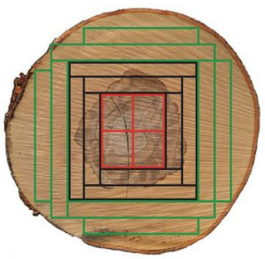
Zukünftige Waldgeneration

Quelle: Deutscher Holzwirtschaftrat (DWHR)

11

Buchenholz

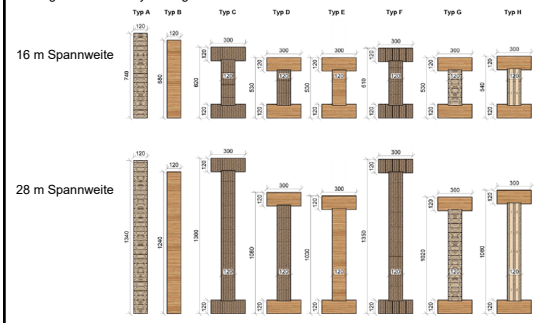
- GRÜN: Splintholz, gute Qualitäten
- **SCHWARZ: schlechtere Qualitäten**
  Festigkeit beeinflussende Merkmale: u.a. Rotkern, Risse, Fehlstellen, Fauläste, Markröhre mit welligem Verlauf
- ROT: Kernholz, Verwendung als Lagerhölzer oder thermische Verwertung



Prinzip Blockbandsägeneinschnitt

12

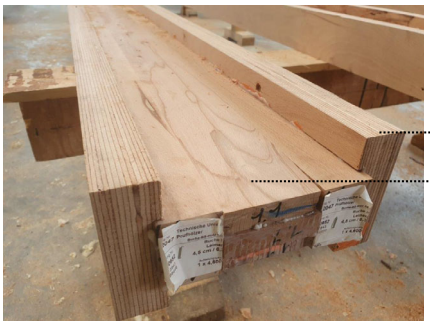
I-förmige Buchenholzhybridträger



Graf J., Birk S. et al., Vergleichende Übersicht I-Träger: 16 m Spannweite (oben) und 28 m Spannweite (unten), Achsabstand 1.5 m

13

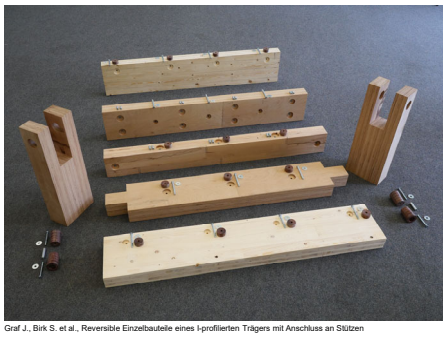
STABU

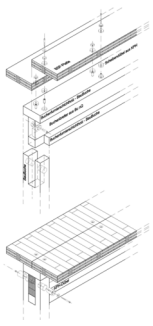


Graf J., Birk S. et al.

14

STABU

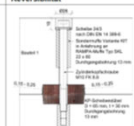




Graf J., Birk S. et al., Reversible Einzelbauteile eines I-profilierten Trägers mit Anschluss an Stützen

15

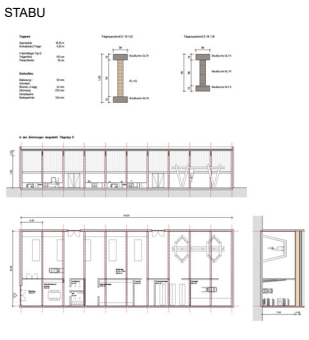
STABU

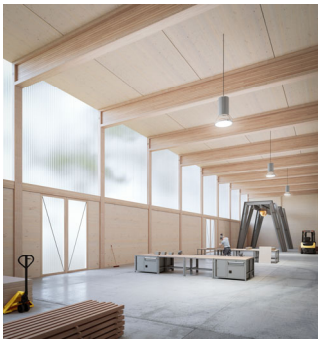
Bauwerk Bauelemente	Verbindung Bauelemente	Verbindung Kraftübertragung	Verbindung Reversibilität	Verbindung Bemessungswerte
Werkhalle (Bild 1) Hauptragwerk: Hauptträger / Dachplatte Hauptträger: I-profilierter Holzträger (Einfeldträger) Dachplatte: Brettsperrholz 5-lagig (Einfeldplatten)	Verbindung Hauptträger / Dachplatte Dachplatte (Bauteil 1) Faserrichtung horizontal I-profilierter Dachträger (Bauteil 2): Faserrichtung horizontal	 KP-Scheibendübel Hersteller: DEUTSCHE HOLZVEREDELUNG Schneeng GmbH & Co. KG Wördinghauser Straße 53 57399 Kirchhundem		KP-Scheibendübel: $F_{v,k}$ = **25 kN** in Kombination mit: Bauteil 1 / Bauteil 2: Brettsperrholz / Baubuche (Obergurt Hauptträger) Verschiebungsmodul: Mittelwert aus Bauteil 1: K_{ser} = 15,2 KN/mm (Nadelholz / Nadelholz) und Bauteil 2: K_{ser} = 28,7 KN/mm (Baubuche / Baubuche) Verschiebungsmodul Verbindung K_{ser} = **21,95 KN/mm**
L = 30,80 m	Material Bauteil 1 Brettsperrholz C 24	Typ: Dehonit BE 335-1	Zylinderkopfschraube M10 GK 8.8	
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	

Graf J., Birk S. et al., Materialpass: Wissensspeicher für Rückbau und Wiederverwendung

16

STABU

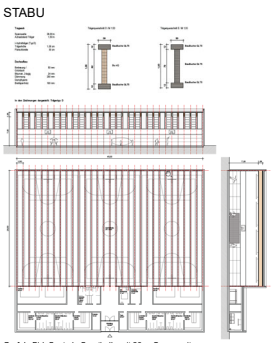




Graf J., Birk S. et al., Werkhalle mit 16 m Spannweite

17

STABU



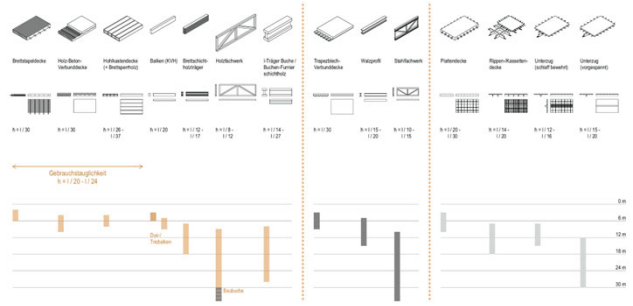
Graf J., Birk S. et al., Sporthalle mit 28 m Spannweite

18

Holz

Stahl

Beton



Graf J., Birk S. et al., Faustformeln Spannweite

19

Kreislaufeffektivität

Wirkungsvolle Maßnahmen, die ein Wirtschaften in Kreisläufen fördern:

- Langlebigkeit und Effizienz
- Nutzungsflexible Geschossebenen und -höhen
- Elementierung von Bauteilen
- Standardisierung von Bauteilen und -elementen
- Reversibilität von Anschlüssen
- Formschlüssige Verbindungen
- Material- und Gebäudepässe
- kreislaufgerechte Planungsbedingungen

→ Kreislauffähigkeit auf fünf Ebenen

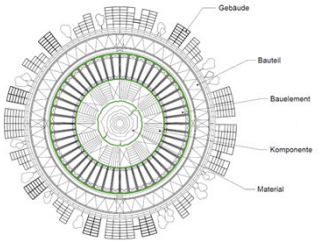


Abb.: Graf J., Birk S. et al.

20

HOLZHYBRID

Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen (HOLZHYBRID)

Fördergeberin:
FNR – Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe

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

Graf J., Birk S. et al.

21

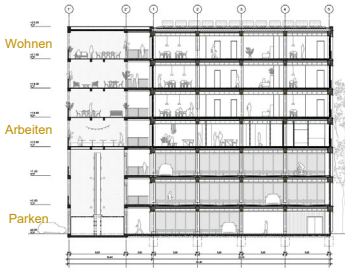
HOLZHYBRID

Beteiligte

- Projektleitung und reversibles Tragwerk: AG Graf, TUK
- Kreislaufgerechte Architektur: AG Birk, TUK/ TUM
- Lösbare Holzverbindungsmittel: 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 ≤ 400qm
- Ausbaustufen: Parken, Arbeiten, Wohnen
- Exemplarischer Typ: 3+1+3
- Vertikalerschließung Autos: Aufzug
- Reale Planungsanforderungen (D): Regelwerk, Normen, Richtlinien
- Maximale Kreislauffähigkeit



Graf J., Birk S. et al.

22

HOLZHYBRID

PARKEN

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

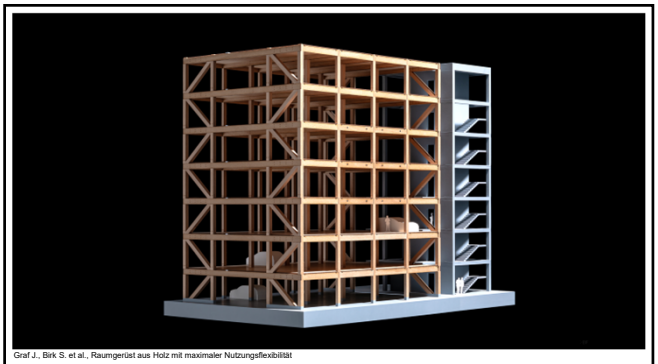
ARBEITEN

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

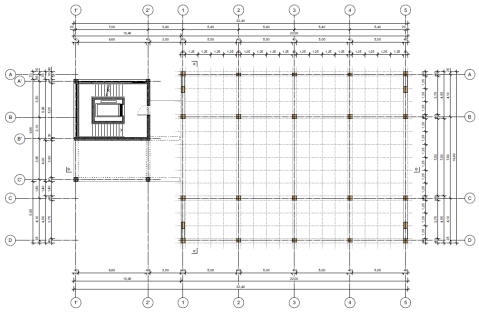
23



Graf J., Birk S. et al., Raumgerüst aus Holz mit maximaler Nutzungsflexibilität

24

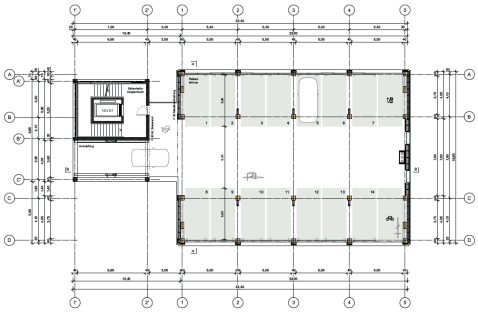
HOLZHYBRID



Graf J., Birk S. et al., Raumgerüst aus Holz mit maximaler Nutzungsflexibilität

25

HOLZHYBRID



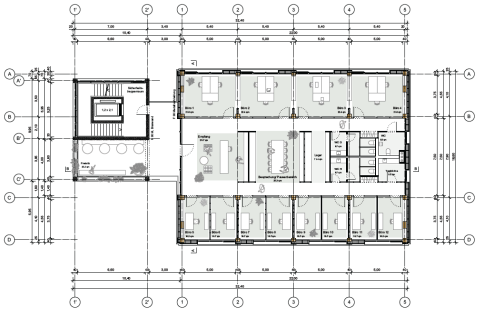
Graf J., Birk S. et al., Nutzungsflexibilität: Ausbaustufe Parken

26

Graf J., Birk S. et al., Nutzungsflexibilität: Ausbaustufe Parken

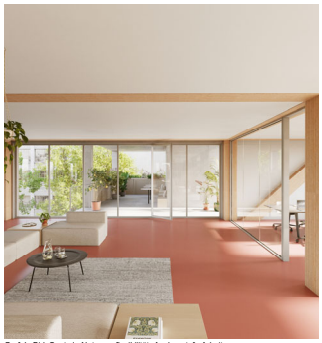
27

HOLZHYBRID



Graf J., Birk S. et al., Nutzungsflexibilität: Ausbaustufe Arbeiten

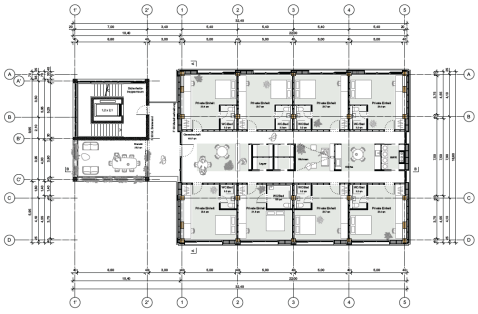
28



Graf J., Birk S. et al., Nutzungsflexibilität: Ausbaustufe Arbeiten

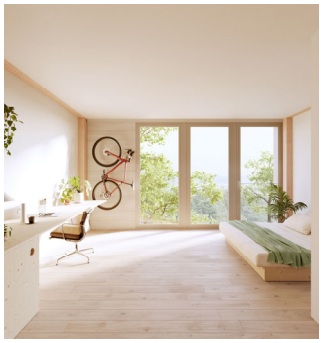
29

HOLZHYBRID



Graf J., Birk S. et al., Nutzungsflexibilität: Ausbaustufe Wohnen

30



Graf J., Birk S. et al., Nutzungsflexibilität: Ausbaustufe Wohnen

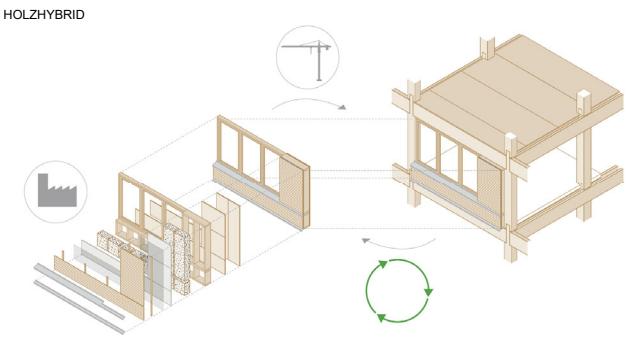
31

Graf J., Birk S. et al., Kreislaufeffektive Bauteile (Tragwerk)

32

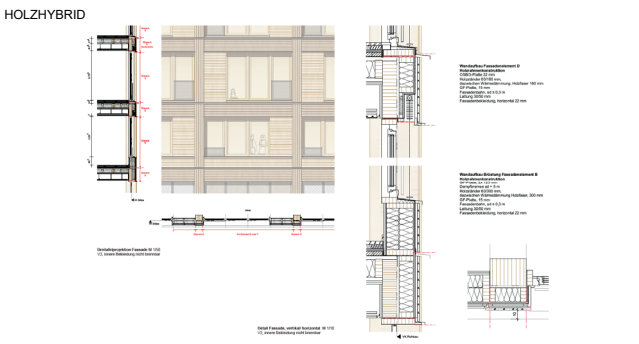
Graf J., Birk S. et al., Hohlkastendecke, Zangen, Stütze – Reversible Verbindung

33



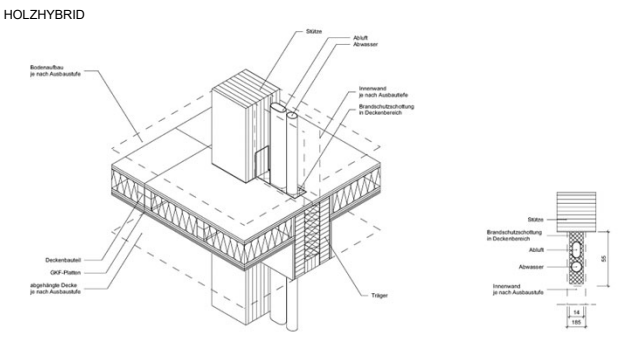
Graf J., Birk S. et al., Außenwand – Kreislaufeffektive Bauteile, Bauelemente und Komponenten

34



Graf J., Birk S. et al., Außenwand – Ebene Bauteil

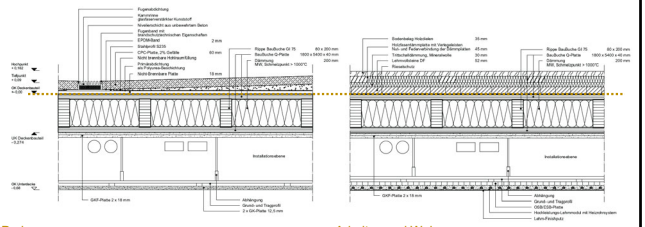
35



Graf J., Birk S. et al., Intergrale TGA - Ebene Bauelement und Komponente

36

HOLZHYBRID



Parken

Komponente: CPC-Platte
Bauelement: Tragkonstruktion Deckenkörper
Bauelement: Installationsebene, Abhangelement
(mit Brandschutzanforderung)

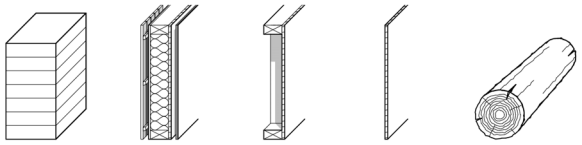
Arbeiten und Wohnen

Komponenten: Trittschall, Lehmsteine, Holzbelag
Bauelement: Tragkonstruktion Deckenkörper
Bauelement: Installationsebene, Abhangelement
(mit Brandschutzanforderung)

Graf J., Birk S. et al., Kreislaufeffektive Bauteile, Bauelemente und Komponenten

37

Ebenen der Kreislauffähigkeit



Gebäude

Nutzungsflexibilität sowie Veränderbarkeit, bedeutet Langlebigkeit der Grundrissstruktur

Bauteil
(Bsp. Außenwand)

Der zerstörungsfreie Rück-, bzw. Ausbau des standardisierten Bauteils garantiert die Wiederverwendung an anderer Stelle / in anderen Bauwerken

Bauelement
(Bsp. Konstruktionsschicht)

Die Ausbaufähigkeit aus der Bauteilebene erlaubt in Abhängigkeit der tektonisch lösbaren Elementgruppen die Anpassung an Austauschzyklen

Komponente
(Bsp. Holzwerkstplatte)

Sortenreinheit und reversible Verbindungen garantieren die Rückbaubarkeit aus der Bauelementebene sowie die Wieder- und Weiterverwendung der Komponenten

Material
(Bsp. Holz)

Kreislauffähig sind Materialien wie Holz oder Lehm im biologischen Kreislauf bzw. wie Stahl und Kupfer im technischen Kreislauf

Graf J., Birk S. et al.

38

Fazit

- **Bauen mit Holz ist aktive Klimaschutzleistung** aufgrund stofflicher Substitution und Erhöhung des Kohlenstoffspeichers
- **Nachhaltige Holzverwendung** ermöglicht anstehenden **Umbau der Wälder**
- Ressourcenoptimierung im Bauwesen ist durch **Kreislaufeffektivität** möglich, daraus folgt…
- Anpassung des Planungsprozesses, **Standardisierung von Bauteilen und Elementen** sowie **Dokumentation** (digitaler Zwilling, Material- und Bauteilpässe)
- So entstehen **urbane Minen** – Materiallager, die eine werterhaltende, wiederholende Verwendung und Verwertung von Bauteilen, Bauelementen und Komponenten erlauben

39

Genügend Holz?

»**Wenn 90% der neuen Stadtbevölkerung in neu gebauten mittelhohen Gebäuden in Holzbauweise untergebracht würden, könnten bis 2100 106 Gt zusätzliches CO2 eingespart werden**. Die Waldplantagen müssten bis 2100 um bis zu 149 Mio. ha erweitert werden, und die Ernten aus ungeschützten Naturwäldern würden zunehmen.«

»Eine **Ausweitung der Holzplantagen für Holzgebäude** ist **ohne größere Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion möglich**. Um einen nachhaltigen Übergang zu Holzstädten zu gewährleisten, sind eine starke Regierungsführung und eine sorgfältige Planung erforderlich, selbst wenn Grenzwälder und Biodiversitäts-Hotspots geschützt werden.«

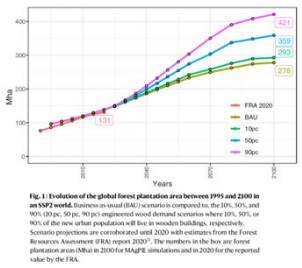


Fig. 1 | Evolution of the global forest plantation area between 1995 and 2100 in an SSP2 world. Business-as-usual (BAU) scenario is compared to, the 10%, 50%, and 90% (10 pc, 50 pc, 90 pc) engineered wood demand scenarios where 10%, 50%, or 90% of the new urban population will live in wooden buildings, respectively. Scenario projections are corroborated until 2020 with estimates from the Forest Resources Assessment (FRA) report 2020[9]. The numbers in the box are forest plantation areas (Mha) in 2100 for MAgPIE simulations and in 2020 for the reported value by the FRA.

Quelle: Mishra, A.; Humpenöder, F.; Churkina, G.; Schellnhuber, H. et al. (2022) Land use change and carbon emissions of a transformation to timber cities, nature

40

Technische Universität München
Lehrstuhl für Architektur und Holzbau
TUM.wood – Forschung und Lehre
www.holz.tum.de

Birk
Heilmeyer
und Frenzel
Architekten

Büro für (Holzbau)Architektur
Adlerstraße 31, 70199 Stuttgart
T +49 711 664 822 0, info@bhundf.com
www.bhundf.com, @bhundf

41