

**FORUM  
HOLZBAU**  
DEUTSCHLAND  
STUTTGART

**1. Süddeutscher Holzbau Kongress (SHK)**  
**Schwabenlandhalle Fellbach**  
**25./26. Juli 2023**

BFH BIEL  
TH ROSENHEIM  
UNI AALTO  
HELSINKI  
TU MUNCHEN  
TU WIEN  
KAISERSLAUTERN  
UNI STUTTGART

Herausgeber: FORUM **HOLZBAU**  
Bahnhofplatz 1  
2502 Biel/Bienne  
Schweiz  
T +41 32 327 20 00

Bearbeitung und Satz: FORUM **HOLZBAU**, Simone Burri, Katja Rossel, Katharina Uebersax

© 2023 by FORUM **HOLZBAU**, Biel/Bienne, Schweiz  
ISBN 978-3-906226-55-2

[www.forum-holzbau.com](http://www.forum-holzbau.com) | [www.forum-holzkarriere.com](http://www.forum-holzkarriere.com) | [www.forum-holzbranche.com](http://www.forum-holzbranche.com) | [www.forum-holzwissen.com](http://www.forum-holzwissen.com)

## Inhalt

Bauwirtschaft: Daten – Fakten – Massnahmen

<b>Ausblick 2024: Zur Bau- und Immobilienkrise in Süd/West Deutschland sowie der ESG Einfluss und die Sonderentwicklung Holzbau</b>	13
<i>Martin Langen, B+L Marktdaten, Bonn, Deutschland</i>	

### Block A1

Neue Wege beim nachhaltigen Bauen für Erziehung und Bildung

<b>«Holzbau bildet» – Ein Werkbericht über Bildungsbauten</b>	19
<i>Melanie Wenderlein, hirner&amp;riehl architekten, München, Deutschland</i>	

<b>Erweiterungsbau Uni Witten/Herdecke: Holzbau wirtschaftlicher als der konventionelle Massivbau – eine spezielle Entwicklungsgeschichte</b>	27
<i>Anders Übelhack, Züblin Timber, Aichach, Deutschland</i>	

### Block A2

Bauen im Blickwinkel der aktuellen Zertifizierung und Finanzierung von Projekten

<b>QNG – Paradigmenwechsel in der Bauförderung</b>	39
<i>Holger König, Ascona, Gröbenzell, Deutschland</i>	

<b>Materialaspekte aus dem Blickwinkel der Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)</b>	47
<i>Karl-Heinz Weinisch, IQUH, Weikersheim, Deutschland</i>	

### Block B1

Konstruktiver Schallschutz

<b>Ausführungsfehler im Schallschutz vermeiden</b>	65
<i>Veronika Silberbauer, PIRMIN JUNG Deutschland, Augsburg, Deutschland</i>	

<b>Schalltechnische Planung von Außenbauteilen – Außenwände, Dach- und Terrassenkonstruktionen</b>	75
<i>Andreas Rabold, Technische Hochschule Rosenheim und ift Rosenheim, Rosenheim, Deutschland</i>	
<i>Camille Châteauvieux-Hellwig, Technische Hochschule Rosenheim, Rosenheim, Deutschland</i>	
<i>Stefan Bacher, ift Rosenheim, Rosenheim, Deutschland</i>	

<b>Tiefe Frequenzen beim Trittschall und differenzierte Flankenbewertung bei Trittschallübertragung – Ifo Schriftreihe Schallschutz im Holzbau</b>	89
<i>Adrian Blödt, IB Blödt / Blödt Holzkomplettbau, Kohlberg, Deutschland</i>	

### Block B2

Bauen ohne Grundstück

<b>Modulare Aufstockungen im urbanen Raum</b>	107
<i>Christian A. Czerny, LiWood, München, Deutschland</i>	

<b>Parkplatzüberbauung am Dantebad in München</b>	117
<i>Josef Huber, Huber &amp; Sohn, Bachmehring, Deutschland</i>	

## Immobilienwirtschaft und Holzbau

<b>Holzwohnbau-Studie: Großvolumiger Wohnungsbau in Holzbauweise – Kosten / Kostenvergleich D-A-CH</b>	127
<i>Ludger Dederich, Hochschule Rottenburg, Rottenburg/Neckar, Deutschland</i>	
<b>Entwickeln für ein nachhaltiges Investment</b>	139
<i>Peter Wicki, Zug Estates, Zug, Schweiz</i>	
<b>CARL Pforzheim – Die Entstehung des höchsten Holz-Hybrid-Hochhauses in Süddeutschland</b>	147
<i>Carsten von Zepelin, Baugenossenschaft Arlinger, Pforzheim, Deutschland</i>	
<i>Peter W. Schmidt, Peter W. Schmidt Architekten, Pforzheim, Deutschland</i>	

## Block A3

### Bemessen und Konstruieren im Holz(haus)bau

<b>Neue Decken für den (Holz-)Hausbau</b>	161
<i>Prof. Dr. Volker Schmid und Melf Sutter, Entwerfen und Konstruieren – Verbundstrukturen Institut für Bauingenieurwesen, Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland</i>	
<b>Innovative beams, floors and floor connections made of hybrid timber structures</b>	173
<i>Dr. Simon Aicher, MPA Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland</i>	
<b>Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen</b>	187
<i>Prof. Stephan Birk, Technische Universität München, Birk Heilmeyer und Frenzel Architekten, Stuttgart, Deutschland</i>	

## Block A4

### Die Gebäudehülle: Konstruktiv – Funktional – Gestalterisch

<b>Holzfassade und Architektur</b>	197
<i>Prof. Hermann Kaufmann, Hermann Kaufmann + Partner, Schwarzach, Österreich</i>	
<b>Planung und Konstruktion von Holzfassaden</b>	205
<i>Dr. Heinz Pape, bauart Konstruktions, Lauterbach, Deutschland</i>	
<b>Fassadenintegrierte Haustechnik für die Sanierung</b>	213
<i>Dr. Fabian Ochs, Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich</i>	
<i>Willam Monteleone, Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich</i>	
<b>TES – Maßanzug für den Wohnungsbau</b>	223
<i>Alexander Gumpp, Gumpp &amp; Maier, Binswangen, Deutschland</i>	

## Block B3

### Zirkuläres Konstruieren und Bauen

<b>Cradle-to-Cradle in der Praxis – oder: Wie Kreislaufwirtschaft funktionieren kann zeigen die Niederlande</b>	237
<i>Dr. Patrick Bergmann, Madaster Germany, Berlin, Deutschland</i>	
<b>Wiederverwendung tragender Bauteile</b>	247
<i>Prof. Dr. Jürgen Graf, t-lab Holzarchitektur und Holzwerkstoffe, RPTU Kaiserslautern-Landau, Kaiserslautern, Deutschland</i>	
<b>Re-Use - Bauteile wiederverwenden</b>	259
<i>Oliver Seidel, baubüro in situ / Zirkular, Basel, Schweiz</i>	

## Block B4

### Exzellenzcluster IntCDC Stuttgart

**Exzellenzcluster IntCDC – Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Holzbau-Architektur** 275

*Prof. Dr. Jan Knippers, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland*

**Entwurf und Planung des Demonstrationsgebäudes LCRL an der Universität Stuttgart** 283

*Sebastian Thomas, IntCDC Planungs GmbH, Stuttgart, Deutschland*

**Robotics and haptic intelligence – the potential for timber construction** 287

*Prof. Dr. Katherine J. Kuchenbecker, Max Planck Institute for Intelligent Systems, Stuttgart, Deutschland*

**Forschungsintegration weitspannender, punktgestützter Geschossdecken im LCRL Gebäude** 291

*Lorenz Riedel, Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen, Universität Stuttgart, Deutschland*

*Cristóbal Tapia, Materialprüfungsanstalt – Abteilung Holzkonstruktionen, Universität Stuttgart, Deutschland*

*Simon Treml, Institut für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung, Universität Stuttgart, Deutschland*

### Klimagerechtes Planen und Bauen für die Zukunft

**circularWOOD – Kreislaufwirtschaft im Holzbau** 303

*Dr. Sandra Schuster, Technische Universität München, München, Deutschland*

**Möglichkeiten im Holzbau – die «Wanderschule» in Prüm als aktuelles Beispiel** 309

*Erhard Botta und Anne Kettenburg, werk.um architekten, Darmstadt, Deutschland*

**Bauen – einfach und ressourcenneutral** 321

*Martin Haas, haascookzemmrich STUDIO2050, Stuttgart, Deutschland*

**Cradle to Cradle – Entwerfen und Konstruieren mit Holz: Erfahrungen, Erwartungen, Visionen** 329

*Klaus Günter, Partner und Partner Architekten, Berlin, Deutschland*



## Moderatoren

### **Dr. Aicher Simon**

Materialprüfungsanstalt (MPA)  
Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 4  
70569 Stuttgart, Deutschland  
+49 7116 856 22 87  
Simon.Aicher@mpa.uni-stuttgart.de

### **Alversammer Wolfgang**

Technische Hochschule Rosenheim  
Hochschulstrasse 1  
83024 Rosenheim, Deutschland  
+49 8031 805 23 81  
wolfgang.alversammer@th-rosenheim.de

### **Prof. Dr. Dietsch Philipp**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
R.-Baumeister-Platz 1  
76131 Karlsruhe, Deutschland  
+49 7216 084 22 11  
dietsch@kit.edu

### **Prof. Germerott Uwe**

Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau  
Solothurnstrasse 102  
2500 Biel/Bienne, Schweiz  
+41 32 344 03 50  
uwe.germerott@bfh.ch

### **Prof. Dr. h.c. Köster Heinrich**

Technische Hochschule Rosenheim  
Hochschulstrasse 1  
83024 Rosenheim, Deutschland  
+49 8031 805 120  
heinrich.koester@th-rosenheim.de

### **Prof. Müller Andreas**

Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau  
Solothurnstrasse 102  
2500 Biel/Bienne, Schweiz  
+41 32 344 03 19  
andreas.mueller@bfh.ch

### **Dr. Schuster Sandra**

Technische Universität München TUM  
Arcisstrasse 21  
80333 München, Deutschland  
+49 8928 925 493  
sandra.schuster@tum.de

### **Prof. Winter Wolfgang**

Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13  
1040 Wien, Österreich  
+43 699 103 350 49  
winter@iti.tuwien.ac.at

## Referenten

### **Dr. Aicher Simon**

Materialprüfungsanstalt (MPA)  
Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 4  
70569 Stuttgart, Deutschland  
+49 7116 856 22 87  
Simon.Aicher@mpa.uni-stuttgart.de

### **Dr. Bergmann Patrick**

Madaster Germany GmbH  
Bundesallee 39/40a  
10717 Berlin, Deutschland  
+49 172 769 50 09  
patrick.bergmann@madaster.com

### **Prof. Birk Stephan**

Technische Universität München TUM  
Arcisstrasse 21  
80333 München, Deutschland  
+49 8928 925 491  
s.birk@tum.de

### **Blödt Adrian**

Blödt Holzkomplettbau GmbH  
Ahornweg 5  
92702 Kohlberg, Deutschland  
+49 9608 583  
info@holzbau-bloedt.de

**Botta Erhard**

werk.um Botta Lückgen Steffen und Partner  
Architekten und Innenarchitekten  
baugewerbliche PartG mbB  
Rheinstrasse 99.4  
64295 Darmstadt, Deutschland  
+49 6151 812 97 14  
e.botta@werkum.de

**Dr. Braune Anna**

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen –  
DGNB e.V.  
Tübinger Strasse 43  
70178 Stuttgart, Deutschland  
+49 7117 223 22 67  
a.braune@dgnb.de

**Dr. Bürger Veit**

Öko-Institut e.V.  
Merzhauser Strasse 173  
79100 Freiburg, Deutschland  
+49 7614 529 52 59  
v.buerger@oeko.de

**Czerny Christian**

LiWood Management AG  
Rückertstrasse 5  
80336 München, Deutschland  
+49 8941 118 410  
christian.czerny@liwood.com

**Prof. Dederich Ludger**

Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg  
Schadenweilerhof  
72108 Rottenburg a.N., Deutschland  
+49 7472 951 147  
dederich@hs-rottenburg.de

**Friedel Jochen**

müllerblaustein HolzBauWerke GmbH  
Pappelauer Strasse 51  
89134 Blaustein, Deutschland  
+49 7304 961 60  
jochen.friedel@muellerblaustein.de

**Prof. Dr. Graf Jürgen**

Technische Universität Kaiserslautern  
Gottlieb-Daimler-Strasse  
67663 Kaiserslautern, Deutschland  
+49 6312 052 296  
tragwerk@architektur.uni-kl.de

**Gumpp Alexander**

Gumpp & Maier GmbH  
Hauptstrasse 65  
86637 Binswangen, Deutschland  
+49 8272 998 50  
a.gumpp@gumpp-maier.de

**Günter Klaus**

Partner und Partner Architekten  
Reichenberger Strasse 124a  
10999 Berlin, Deutschland  
+49 160 782 27 52  
kg@partnerundpartner.com

**Günther Matthias**

ISP Eduard Pestel Institut für Systemforschung e.V.  
Gretchenstrasse 7  
30161 Hannover, Deutschland  
+49 5119 909 40  
guenther@pestel-institut.de

**Haas Martin**

haascookzemmrich STUDIO2050  
Gymnasiumstrasse 52  
70174 Stuttgart, Deutschland  
+49 7112 221 51 75  
pr@haascookzemmrich.com

**Huber Josef**

Huber & Sohn GmbH & Co. KG  
Wasserburger Strasse 4  
83549 Eisingen, Deutschland  
+49 8071 919 101  
jhuber@huber-sohn.de

**Kaufmann Hermann**

Hermann Kaufmann + Partner ZT GmbH  
Sportplatzweg 5  
6858 Schwarzach, Österreich  
+43 5572 581 740  
h.kaufmann@hkarchitekten.at

**Prof. Dr. Knippers Jan**

Universität Stuttgart  
Keplerstrasse 11  
70174 Stuttgart, Deutschland  
+49 7116 858 32 80  
jan.knippers@itke.uni-stuttgart.de

**König Holger**

Ascona –  
Gesellschaft für ökologische Projekte  
Wacholderweg 1  
82194 Gröbenzell, Deutschland  
+49 8142 651 86 96  
mail@ascona-koenig.de

**Langen Martin**

B+L Marktdaten  
Markt 26  
53111 Bonn, Deutschland  
+49 2286 298 720  
ml@BL2020.com

**Dr. Pape Heinz**

bauart Konstruktions GmbH & Co. KG  
Spessartstrasse 13  
36341 Lauterbach, Deutschland  
+49 6641 966 180  
pape@bauart-ingenieure.de

**Riedel Lorenz**

Universität Stuttgart  
Keplerstrasse 11  
70174 Stuttgart, Deutschland  
+49 7116 858 32 84  
l.riedel@itke.uni-stuttgart.de

**Schmidt Peter W.**

Peter W. Schmidt Architekten GmbH  
Kuppenheimstrasse 4  
75179 Pforzheim, Deutschland  
+49 7231 453 90  
pforzheim@pws.eu

**Seidel Oliver**

baubüro in situ AG  
Hohlstrasse 400  
8048 Zürich, Schweiz  
+41 61 337 84 12  
o.seidel@insitu.ch

**Dr. Tapia Camú Cristóbal**

Materialprüfungsanstalt (MPA)  
Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 4  
70569 Stuttgart, Deutschland  
+49 7116 856 29 31  
cristobal.tapia-camu@mpa.uni-stuttgart.de

**Prof. Dr. Kuchenbecker Katherine J.**

Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme  
Heisenbergstrasse 3  
70569 Stuttgart, Deutschland  
+49 7116 893 510  
kjk@is.mpg.de

**Prof. Dr. Ochs Fabian**

Universität Innsbruck  
Technikerstrasse 13  
6020 Innsbruck, Österreich  
+43 5125 076 36 03  
fabian.ochs@uibk.ac.at

**Prof. Dr. Rabold Andreas**

Technische Hochschule Rosenheim  
Hochschulstrasse 1  
83024 Rosenheim, Deutschland  
+49 8031 805 25 33  
andreas.rabold@th-rosenheim.de

**Prof. Dr. Schmid Volker**

Technische Universität Berlin  
Strasse des 17. Juni 135  
10623 Berlin, Deutschland  
+49 3031 472 162  
volker.schmid@tu-berlin.de

**Dr. Schuster Sandra**

Technische Universität München TUM  
Arcisstrasse 21  
80333 München, Deutschland  
+49 8928 925 493  
sandra.schuster@tum.de

**Silberbauer Veronika**

PIRMIN JUNG Deutschland GmbH  
Ravenspurgerstrasse 41  
86150 Augsburg, Deutschland  
+49 8214 401 84 67  
veronika.silberbauer@pirminjung.de

**Thomas Sebastian**

IntCDC Planungs GmbH  
Lange Strasse 54  
70174 Stuttgart, Deutschland  
+49 8913 992 573  
sebastian.thomas@intcdc-planung.de

**Übelhack Anders**

ZÜBLIN Timber GmbH  
Industriestrasse 2  
86551 Aichach, Deutschland  
+49 9201 799 636  
anders.uebelhack@zueblin.de

**von Zepelin Carsten**

Baugenossenschaft Arlinger eG  
Hohlohstrasse 6  
75179 Pforzheim, Deutschland  
+49 7231 946 213  
c.vonZepelin@arlinger.de

**Wagner Hans Jakob**

Universität Stuttgart  
Keplerstrasse 11  
70174 Stuttgart, Deutschland  
+49 7116 858 19 28  
hans.jakob.wagner@icd.uni-stuttgart.de

**Weinisch Karl-Heinz**

IQUH GmbH  
Deutschordenstrasse 4/3  
97990 Weikersheim, Deutschland  
+49 7934 912 111  
weinisch@iquh.de

**Wenderlein Melanie**

hirner & riehl architekten und  
stadtplaner partg mbh  
Herzog-Heinrich-Strasse 20  
80336 München, Deutschland  
+49 8921 898 44 30  
m.wenderlein@hirnerundriehl.de

**Wicki Peter**

Zug Estates AG  
Industriestrasse 12  
6300 Zug, Schweiz  
+41 41 729 10 10  
peter.wicki@zugestates.ch

**Dienstag, 25. Juli 2023**  
**Bauwirtschaft: Daten – Fakten – Massnahmen**



# **Ausblick 2024: Zur Bau- und Immobilienkrise in Süd/West Deutschland sowie der ESG Einfluss und die Sonderentwicklung Holzbau**

Martin Langen  
B+L Marktdaten GmbH  
Bonn, Deutschland





# Ausblick 2024: Zur Bau- und Immobilienkrise in Süd/West Deutschland sowie der ESG Einfluss und die Sonderentwicklung Holzbau

## 1. Vortragsinhalte

Im Vortrag wird die aktuelle Krise in der Bauentwicklung und auf dem Immobilienmarkt betrachtet. Dabei wird nicht nur auf die Prognose des Neubaus getrennt nach Wohnbau und Nichtwohnbau, sondern auch auf die Besonderheiten der Sanierung im Bestand eingegangen.

Allein in den ersten vier Monaten 2023 sind die Baugenehmigungen für Einfamilienhäuser in gesamt Deutschland um 37% im Vergleich zum Vorjahreszeitraum zurückgegangen.

Zur Einschätzung der regionalen Neubautätigkeit in den nächsten 24 Monaten haben wir die Veränderung der Baugenehmigungen auf einen Zwölfmonatszeitraum (04/22 bis 03/23) dargestellt. In Bayern und Baden-Württemberg gehen die Genehmigungen um 19,4% zurück.

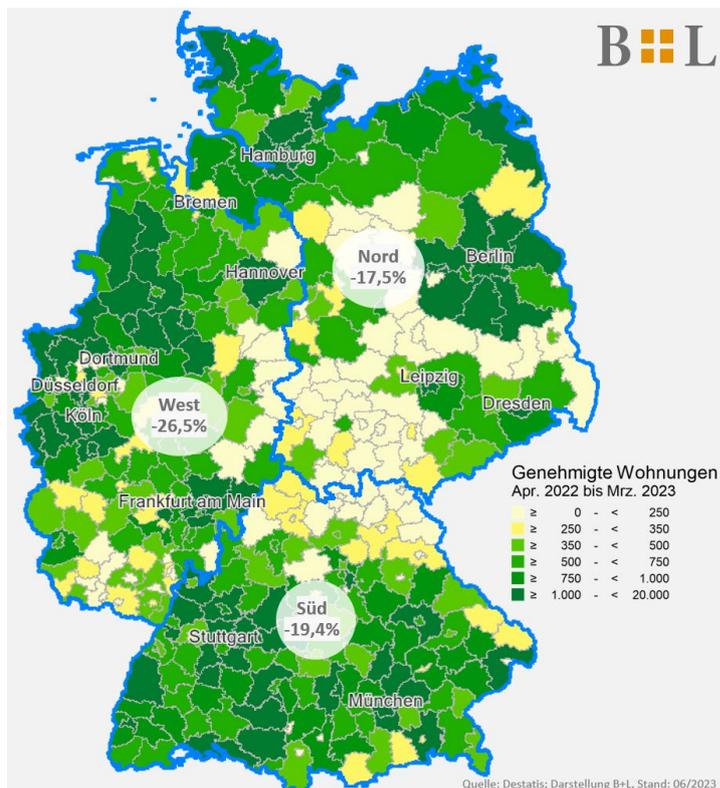


Abbildung 1: Genehmigter Wohnbau April 22 bis März 23 absolute Anzahl [pro Landkreis, Veränderung zum Vj. ]

Diese zurückgehende Bautätigkeit trifft auf eine zunehmende Nachfrage. Im Jahr 2022 sind netto über 1,4 Millionen Menschen nach Deutschland zugewandert. Diese hohe zusätzliche Wohnungsnachfrage wird in den nächsten Jahren zu einer weiteren Verknappung des Wohnraumes führen. In München ist der Mietspiegel 2023 um 21 % gegenüber dem Vorjahr gestiegen. Diese konträre Entwicklung wird im Vortrag detailliert analysiert und die Prognosen, die sich daraus mittelfristig für den Wohnbau ergeben, dargestellt.

Auch im Nichtwohnbau gehen die Genehmigungen zurück. Die Karte zeigt, dass der Süden aktuell stärker betroffen ist. Gegenwärtig reichen die Auftragsvorläufe im Nichtwohnbau in das Jahr 2024.

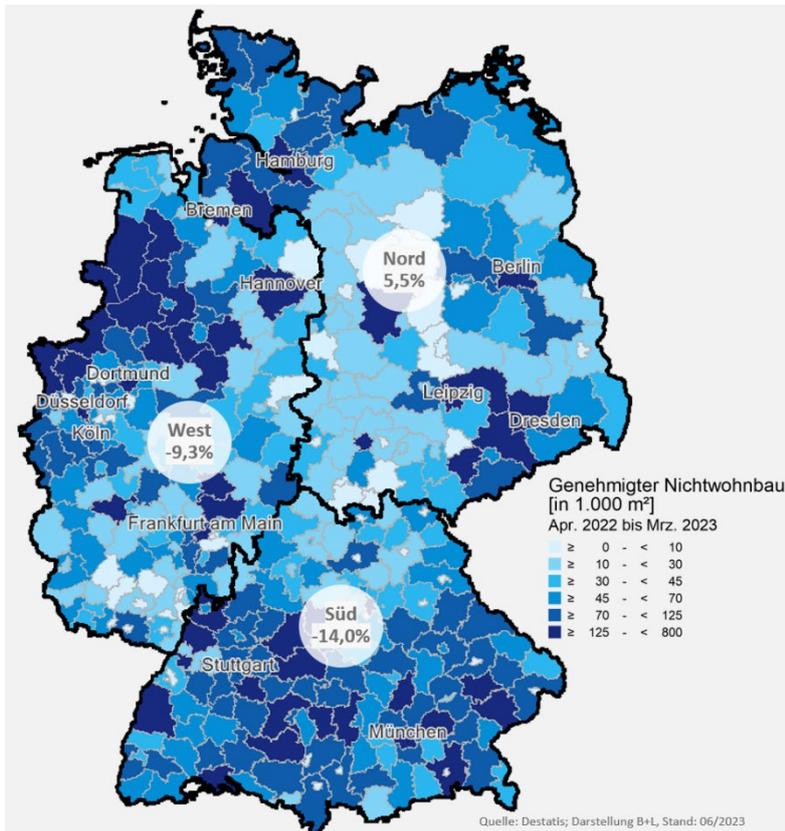


Abbildung 2: Genehmigter Nichtwohnbau [m<sup>2</sup> pro Landkreis, Veränderung zum Vj.]

Die Genehmigungen der letzten verfügbaren 12 Monate gehen im Süden (BW und BY) um 14,0% zurück.

Die im Titel des Vortrags erwähnten ESG Richtlinien werden den Nichtwohnbau in den nächsten Jahren stark beeinflussen. Bisher betrafen die so genannten ESG Richtlinien oder auch EU-Taxonomie in erster Linie die Finanzindustrie. Nun zeigt sich, dass die Auswirkungen dieser Richtlinien gravierende Folgen für die Immobilienplanung aller mittelständischen und großen Unternehmen haben werden. Um es auf einen einfachen Nenner zu bringen: wer in einer nicht auf Neubaustandard isolierten Immobilie arbeitet und produziert, zahlt mehr Zinsen. Dieser einfache Mechanismus führt in den nächsten Jahren zu einer Investitionswelle im Nichtwohnbau.

Abschließend wird sich der Vortrag mit der Entwicklung und Positionierung des Holzbaus in dieser schwierigen Bauentwicklung beschäftigen.

**Block A1**  
**Neue Wege beim nachhaltigen Bauen  
für Erziehung und Bildung**



# «Holzbau bildet»

## Ein Werkbericht über Bildungsbauten

Melanie Wenderlein  
Architektin  
hirner&riehl architekten stadtplaner bda partg mbb  
München, Deutschland





# «Holzbau bildet»

## Ein Werkbericht über Bildungsbauten

Gelungene Architektur entsteht im Dialog der Beteiligten. Unser Ziel in diesem Geschehen ist es, in formaler, funktionaler und ökologischer Hinsicht nachhaltig zu bauen. Wir entwickeln unsere Gebäude aus den Bedingungen, die wir vorfinden in dem Bewusstsein, dass wir mit unseren Gebäuden unsere Umwelt mit gestalten- optisch und ganz gravierend durch die Wahl nachhaltiger Materialien. Der Ort und seine Geschichte sind uns dabei ebenso wichtig wie die Bestimmung der Gebäude und die Menschen, für die wir tätig werden. Wir planen und bauen Bildungsbauten für alle Altersklassen und das seit über 20 Jahren in Holzbauweise.

### 1. Grundschule an der Preysingstraße in München



Eine Obstbaumwiese im Süden, alter Baumbestand im Westen, wie in einem Park liegt die neue Grundschule in Haidhausen. Der Baukörper entwickelt sich aus einem sechseckigen Grundriss. Das Satteldach verläuft über die Mittelachse in Nordsüdrichtung. Markant sind die versetzt liegenden Einschnitte in das Raumvolumen. Das Gebäude stellt sich damit einerseits als klassisches Schulhaus dar und lässt aber andererseits mit der Grundrissaufteilung den pädagogischen Ansatz – das Lernhauskonzept – erkennen.

Die Fassade wirkt im Sockelbereich monolithisch und ist in den Obergeschossen netzartig mit einer Leistenstruktur überzogen. Die darunterliegende, farbig gestaltete Holzfassade springt im Bereich der Klassenräume zurück, sodass dort Balkone entstehen. Mehrzweckraum, Mensa mit Küche, Werkbereich und Verwaltung sind im Erdgeschoss um die großzügige Pausenhalle angeordnet. Der helle Treppenraum nach oben erweitert die Halle und ist von hier aus auch einsehbar.



Die 3-geschossige Schule bietet insgesamt Platz für rund 200 Schülerinnen und Schüler und ist in Gebäudeklasse 3 als Sonderbau eingestuft. Alle Außenwände, sowie die tragenden und aussteifenden Innenwände, bestehen dabei aus Brettspertholz-Elementen. Die sehr großen Spannweiten von bis zu 10,2 m wurden teilweise mit mehrfeldrigen Holz-Beton-Verbunddecken und mehrfeldrigen Holz-Beton-Verbund-Plattenbalkenunterzügen ausgebildet. Der Holzteil der Decken besteht dabei aus Brettstapel-Elementen, der Holzteil der Unterzüge aus blockverleimtem Brettschichtholz.

## 2. Studentenwohnheim an der Schwere Reiter Straße, München



Das Studentenheim an der Schwere-Reiter Straße ist aus einem Wettbewerbsgewinn 2017 hervorgegangen und war zum damaligen Zeitpunkt das höchste Holzhaus Münchens: mit 8 Geschossen liegt die Fussbodenoberkante des obersten Aufenthaltsraums bei 22 m. Als Erweiterung zu einem bestehenden Studentenwohnheim entstehen 241 Wohnplätze in 153 Apartments mit Küche/Bad, in 14 3er-WGs und 16 2er-WGs. Vier Apartments sind barrierefrei, 10 Apartments sind für Eltern mit Kindern gedacht. Um die Straßenfront entlang der Schwere-Reiter-Straße aufzulockern ist das Bauvolumen auf zwei Häuser aufgeteilt, die durch ein eingeschossiges Sockelgeschoss verbunden sind. Den Dachgarten über dem Sockelgeschoss kann man sowohl direkt von den Wohngebäuden im 1. Obergeschoss aus als auch über eine großzügige Treppe vom Hof her betreten. Ein Sonnendeck, Liegewiese und Hochbeete laden zum Treffen, Lesen und Entspannen ein.

Das Gebäude ist als unregelmäßiger Sonderbau in die Gebäudeklasse 5 eingeordnet. Das Sockelgeschoss ist komplett in Massivbauweise geplant. Die Wohngeschosse in Brettsperrholz sowie die Holzfassade aus vorvergrauten FichteHolzbrettern sind mit einem hohen Vorfertigungsgrad konzipiert. Brandriegel strukturieren die Fassade.

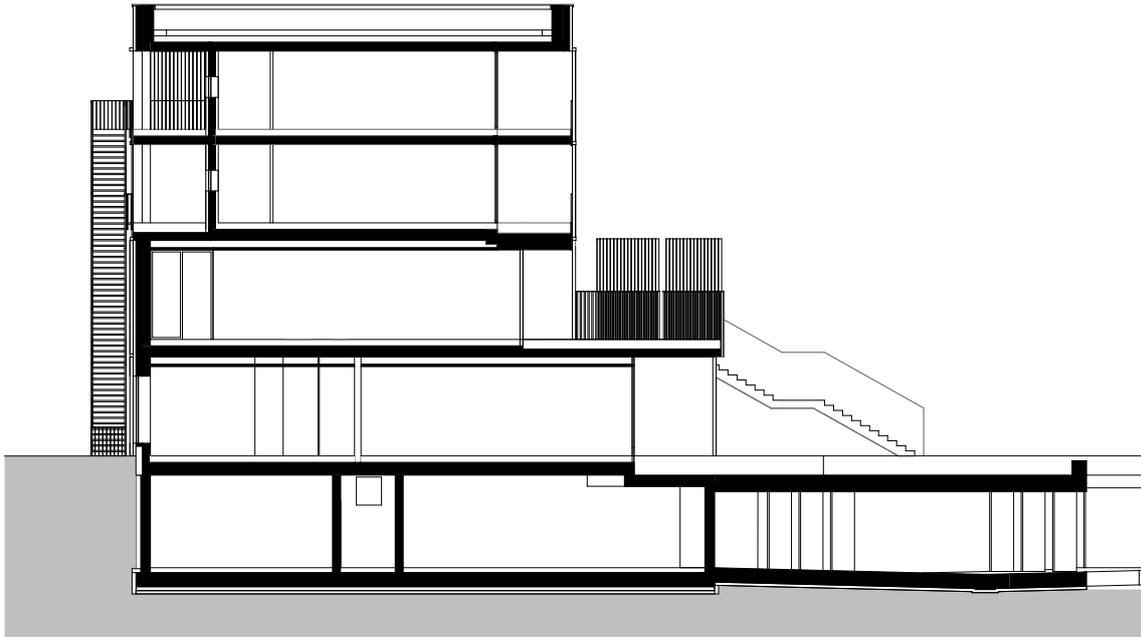
Der Baubeginn erfolgte 2021, mit der Fertigstellung rechnen wir für Fertigstellung 2024.

### 3. Wohnungsbau mit Kindergarten in Olching



An der Münchner Strasse in Olching entsteht gerade eine Wohnanlage mit Kita. Gefördert im Rahmen des kommunalen Wohnungsförderprogrammes (Komm WFP) der bayrischen Staatsregierung entstehen 31 Wohnungen und eine 7-gruppige Kita in Holz-Hybridbauweise. Unser Entwurf teilt das Volumen in zwei Neubauten. Wir entwickelten riegelförmige Baukörper, die L-förmig zueinanderstehen. Sie zeigen sich zur Straße hin geschlossen und bilden nach innen einen geschützten Innenhof für die Kindertagesstätte.

Die Gebäude staffeln sich, zum einen auf der Westseite im Dachgeschoss, dem Bebauungsplan folgend, zum anderen auf der Südseite im 1. Obergeschoss zum Innenhof. Es entsteht eine großzügige Terrasse für die Kindertagesstätte und zониert so die Freiflächen zwischen den Geschossen.



Die Erschließung der Wohnungen erfolgt über Laubengänge, die durch ihre großzügigen Vorzonen eine offene und kommunikative Atmosphäre schaffen. Das Gebäude ist in die Gebäudeklasse 5, der Bereich der Kita im Haus Ost als Sonderbau eingestuft.

Die Außenwände sind als nichttragende Holzständerwände geplant, die das Beton-Skelett «ausfachen». Die Fassade der Loggien und Innenhöfe sind mit verschiedenfarbigen Holzpaneelen akzentuiert. Die 7gruppige Kindertagesstätte in EG und 1. OG hebt sich durch eine farbige Boden-Deckel-Schalung ab.





# **Erweiterungsbau Uni Witten/Herdecke: Holzbau wirtschaftlicher als der konventionelle Massivbau – eine spezielle Entwicklungsgeschichte**

Anders Übelhack  
Züblin Timber  
Aichach, Deutschland





# Erweiterungsbau Uni Witten/Herdecke: Holzbau wirtschaftlicher als der konventionelle Massivbau – eine spezielle Entwicklungsgeschichte

## 1. Der Wettbewerb

### 1.1. Die Universität Witten Herdecke

Die private Universität Witten Herdecke zwischen Dortmund und Bochum wurde als älteste private Universität Deutschlands 1982 gegründet, hat ca. 300 Studierende und 900 Mitarbeiter. Folgende Studienfächer werden gelehrt:

- Humanmedizin
- Zahnmedizin
- Psychologie und Psychotherapie
- Wirtschaftswissenschaft
- Pflegewissenschaft
- Orientierungsangebot im Bereich «Kultur und Gesellschaft»

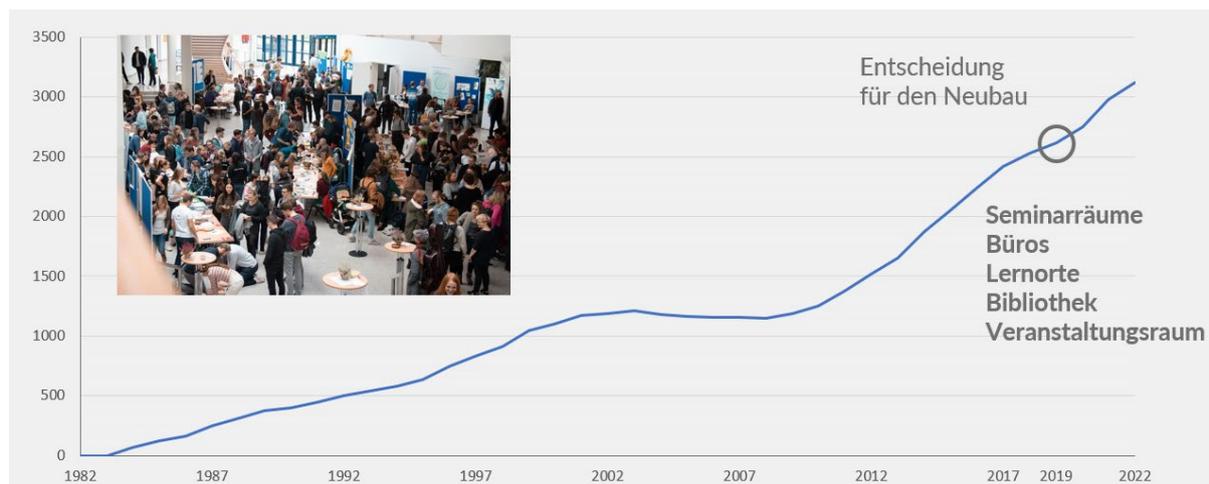


Abbildung 1: Entwicklung Studierendenzahlen (Quelle: Universität Witten/Herdecke)

Aufgrund der stark gestiegenen Studierendenzahlen wurde ein Erweiterungsbau notwendig, der in einer zweijährigen Entwicklungsphase von der Universität vorbereitet wurde.

### 1.2. Wettbewerbskriterien

Als Rahmenbedingungen setzte sich die Universität die Prämissen:

- Vermeidung von finanziellen Risiken  
(fixes Projektbudget 28 Mio. €; Baubudget 22 Mio. €)
- Nachhaltigkeit, klimafreundlich, energiearm  
(Vision «Cradle to Cradle»)
- Intensive Beteiligung der Universitätsöffentlichkeit  
(Studierende, Mitarbeitende, Stakeholder (Stadt Witten, Gremien))

Aufgrund von Erfahrungen im Bau sowie der Anforderung, dass Budget zwingend einzuhalten wurde ein Wettbewerb für Generalübernehmer ausgeschrieben. In diesem wurde durch die Universität mit Unterstützung des im Hochschulbau sehr erfahrenen Projektsteuerungsbüros rheform aus München ein Lastenheft zu den Anforderungen für Raumprogramm und Raumklima auf einem vorgegebenen Grundstück in einem partizipativen Prozess entwickelt.

Die Vorgaben der Universität für den Wettbewerb waren dann folgende:

- Durchführung eines Wettbewerbsverfahren (Ideen und Kosten)
- Die Bieter:innen müssen als Teams (Architekt:in/Bauunternehmer:in) antreten.
- Ein festes Fertigstellungsdatum ist verpflichtend.
- Der vorgegebene Fixpreis darf nicht überschritten werden (22 Mio. € brutto).
- schlüsselfertige Übergabe – definierte Qualitäten

### 1.3. Projektbeteiligte

**AUFTRAGGEBER +  
PROJEKTSTEUERER**



#### DAS TEAM



LAGER

SCHWERTFEGER

KADEN+LAGER

ZÜBLIN



TRANSPLAN Technik-Bauplanung GmbH



Abbildung 2: Projektbeteiligte

### 1.4. Wettbewerbsergebnis

Nach der ersten Vorstellung als Team ZÜBLIN mit Kaden+Lager (heute: Lager Schwertfeger) im November 2017 startete ein fast 2-jähriges Wettbewerbsverfahren mit zunächst 5 Bietern, das im August 2019 mit der Vertragsunterschrift endete.

Aus Sicht der Universität waren die folgenden Kriterien entscheidend:

- bester städtebaulicher Entwurf
- bester Architekt:innen-Entwurf
- überzeugendes Konzept des Bauunternehmens Züblin
- Holzbau als entscheidende Nachhaltigkeitskomponente
- Einhalten der Kostenvorgabe => günstigster Anbieter
- persönlicher Eindruck und Kommittent zum Projekt

Es gab keinerlei Vorgabe für Holzbau, sondern im Gegenteil war dies zunächst nicht vorgesehen. Das Team ZÜBLIN/Kaden+Lager hat konsequent einen Holzbau vorgeschlagen und konnte sich mit dem für eine Holzbauweise optimierten Konzept dann gegen Anbieter aus dem Stein- und Betonmassivbau insbesondere durch die Einhaltung des Budgets mit der besten Qualität durchsetzen.

## 2. Der Entwurf

### 2.1. Projektkennndaten

PROJEKTDATEN	
Bauwerk	Universitätsgebäude mit Bibliothek, Veranstaltungsraum, Seminarräumen, Cafeteria und Büros
Energie Standard	KfW 55
Lage	Witten, Nordrhein-Westfalen
Kunde	Universität Witten -Herdecke
Auftragssumme netto	18,5 Mio €, „Planen und Bauen“, schlüsselfertige Ausführung als Generalübernehmer inkl. aller Planungsleistungen
Bauunternehmen	Ed. Züblin AG Bereich Züblin Timber mit Züblin Timber GmbH
Konstruktion	Holzskelett aus Brettschichtholz mit Holzunterzügen und LENO-Brettspertholzdecken sowie –wänden, Untergeschoss und Treppenhäuser in Stahlbetonbauweise
Bauzeit	03 / 2020 – 09 / 2021
Projektgröße	Sonderbau mit ca. 7.000 m <sup>2</sup> BGF
Nachhaltigkeitszertifikat	BNB Silber

Abbildung 3: Projektdaten

### 2.2. Entwurfskriterien

Im Städtebau wurde das Gebäude als Brücke zwischen die Bestandsgebäude mit Schaffung eines neuen Campusplatzes gesetzt (Abb. 4). Der Neubau schafft zur Straßenseite eine Öffnung nach außen und zur Parkseite hin einen freien Übergang ins Grüne zur Stadt. Für den Entwurf war neben einem modularen Konzept, das auf einem für den Holzbau optimierten Stützenraster von 4,60 m basiert (Abb.5), die nachhaltige Qualität prägend. So wurde neben der Verwendung von Holz ein Low-Tech-Energiekonzept mit BHKW und PV-Anlage umgesetzt. Die Konstruktion wurde kreislauffähig konzipiert, geringe Lebenszykluskosten waren ein wesentlicher Vorteil gegenüber anderen Bietern.

UW/H NEUBAU ERWEITERUNGSGEBÄUDE  
UNIVERSITÄT WITTEN–HERDECKE

Private Universität Witten/Herdecke gGmbH

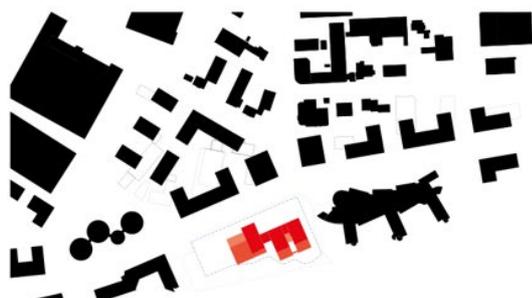
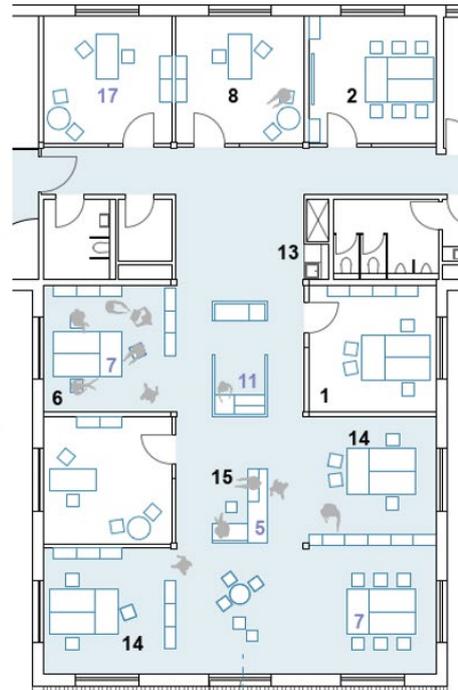


Abbildung 4: städtebauliche Lage

In dem Gebäude sind neben Büroräumen in den Obergeschossen, Seminarräume, ein Cafe, eine Bibliothek sowie ein großer Veranstaltungsraum angeordnet. Die Vielzahl der geforderten Nutzungen stellte hohe Anforderungen an die Lösung in einem modularen Bausystem und konnte durch die gewählte Konstruktion gut umgesetzt werden.



Offene Bürolandschaft - kombinierbar mit geschlossenen Büros



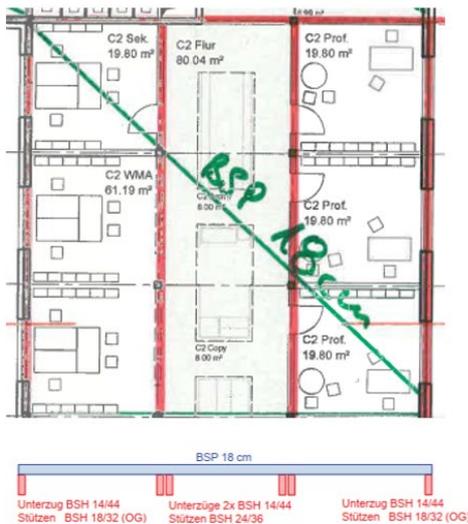
16

Abbildung 5: modulare Konzeption und Skelettkonstruktion

### 2.3. Konstruktion

Auf Grundlage der Brandschutzkonzeption wurde ein Tragwerk aus durchgesteckten Holzstützen mit Holzunterzügen als Zangen entwickelt, das mit minimalen Stahlverbindungsmiteln auskommt, Decken und Dach sind in LENO-Brettsperrholz ausgeführt (Abb.6).

Im Wettbewerb wurde die Außenwand in reiner Holzrahmenbauweise gedacht, jedoch aufgrund Brandschutzanforderungen im Laufe der Ausführungsplanung zu LENO-Brettsperrholz umgeplant. Der Innenausbau ist eine Trockenbaukonstruktion, in den oberen Geschossen ist der Fußbodenaufbau ein schwimmender Estrich mit Bodenkanälen, während im Hang- und Erdgeschoß ein Hohlraumboden eingebaut ist.



Tragwerkskonzept unter Geschossdecken  
 Brandschutz F60 B  
 sichtbares Holz, bemessen auf Abbrand  
 Ausbildung von Zangenpaaren, Stützen durchgesteckt  
 => einfache Details

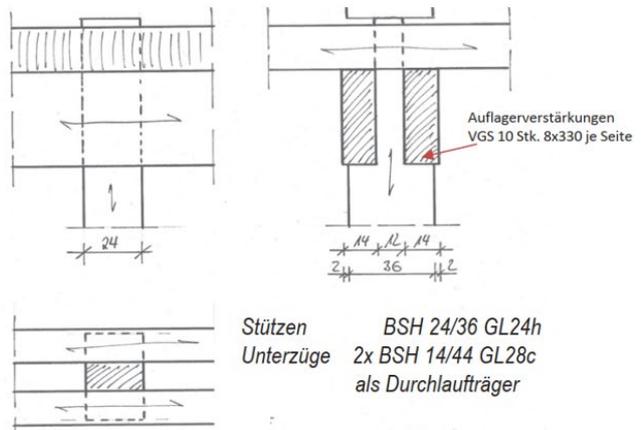
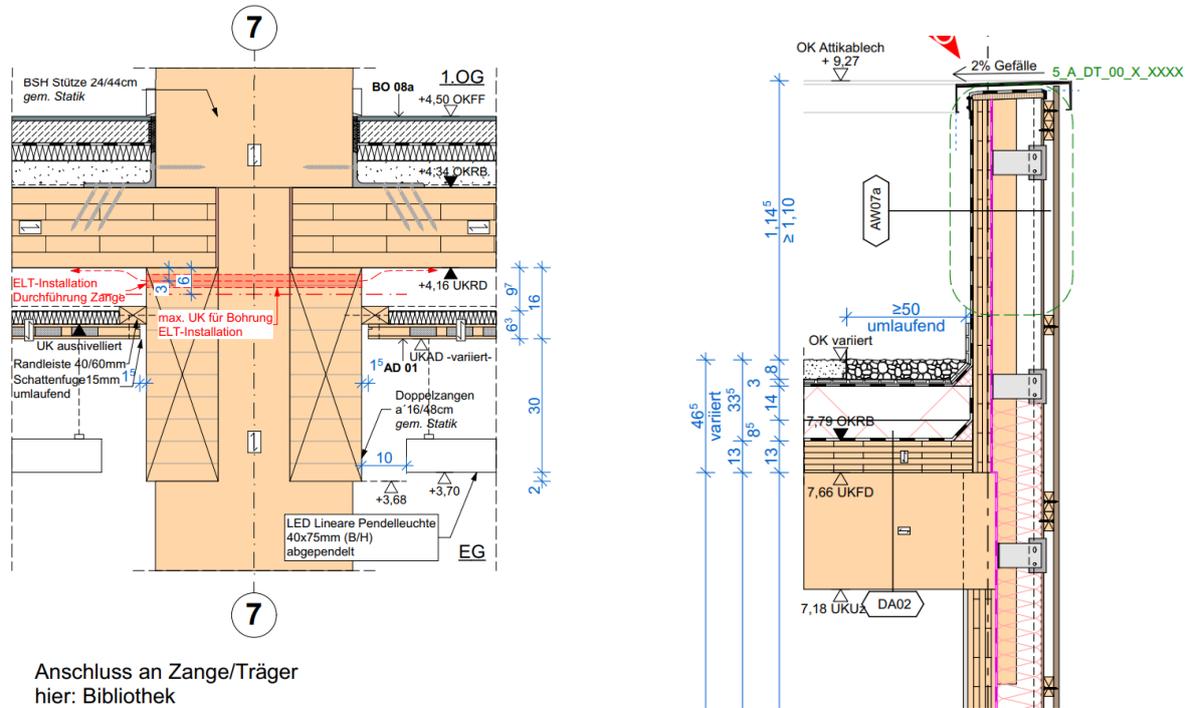


Abbildung 6: statische Konzeption

### 3. Umsetzung

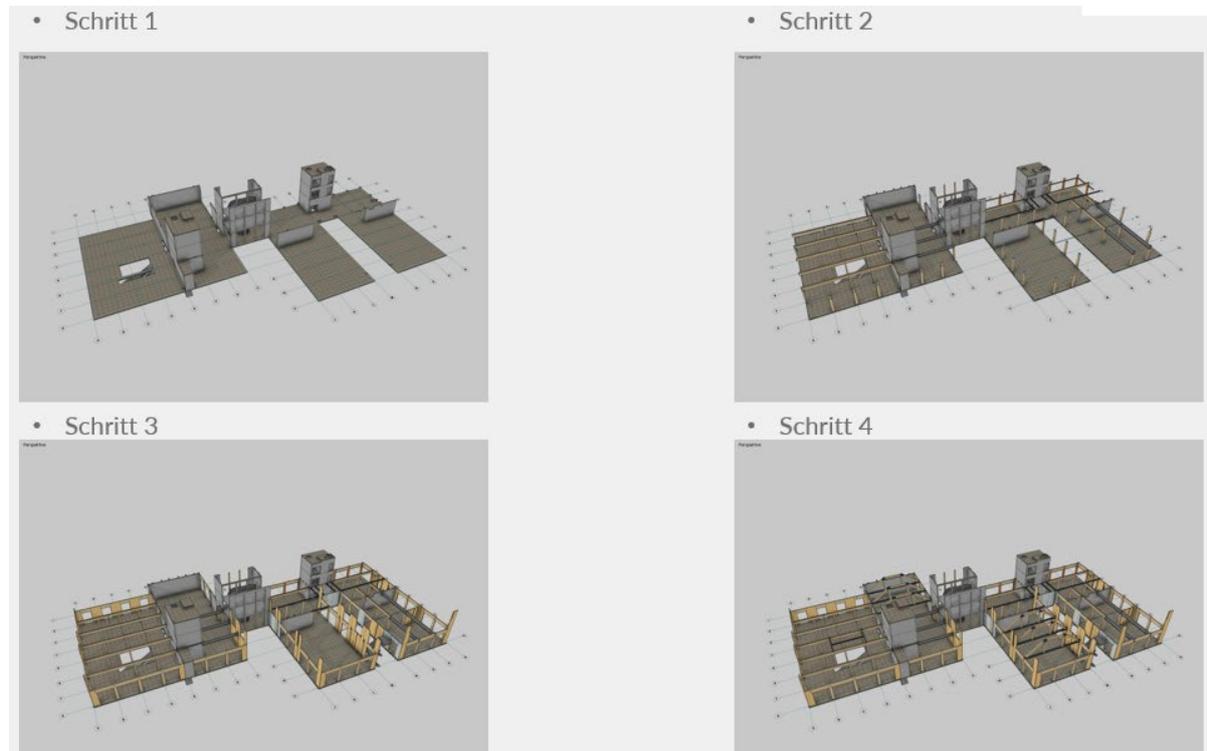
#### 3.1. Werkstatt- und Baustellenplanung

Die aufgrund des Generalübernehmer-Modells mögliche frühe Einbindung der Ausführung auf der Baustelle schon in die Planung führt zu einer großen Effizienz. Man denkt sozusagen «die Planung von der Montage über die Detailplanung (Abb.7) rückwärts». Die Bauabwicklung erfolgt nach der LEAN-Methode (Abb.8).



Anschluss an Zange/Träger  
hier: Bibliothek

Abbildung 7: Detail Knotenpunkt und Fassade



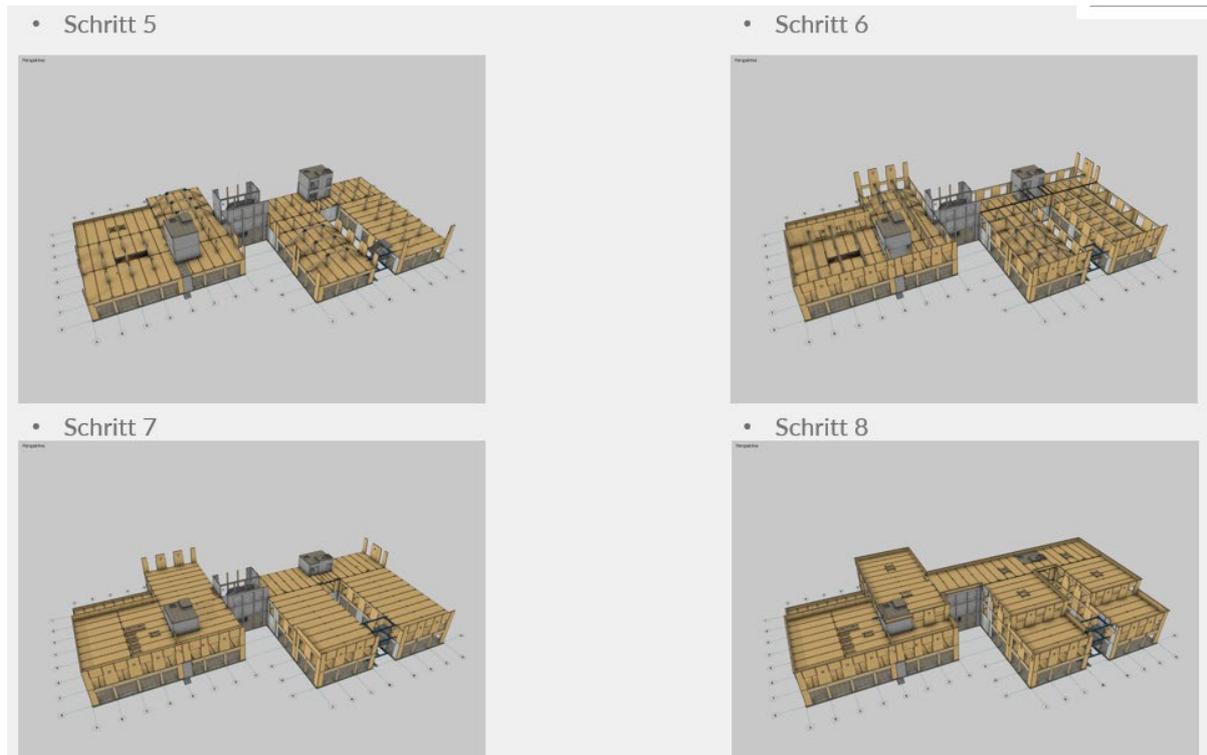


Abbildung 8: Bauablauf Holzkonstruktion

## 4. Ergebnis

### 4.1. Herausforderungen

Aufgrund des gewählten Vergabemodells mit dem langen Wettbewerbsvorlauf und einer umfangreichen und damit kostenintensiven Akquisitionsphase war ein hohes Engagement aller Beteiligten nötig, um den hohen Ansprüchen des Auftraggebers und der Projektsteuerung gerecht zu werden. Ein großer Teil der Planungszeit und die Bauzeit waren in der Zeit der CORONA-Pandemie mit den daraus resultierenden Anforderungen, wodurch neue Wege in Kommunikation und Abwicklung erforderlich wurden.

### 4.2. Fazit der Universität Witten / Herdecke

Auf einer Tagung im Herbst 2022 hat der Kanzler der Universität, Herr Nonnenkamp für die in dem Erweiterungsbau entstanden 110 Mitarbeiter-Arbeitsplätze, 400 Studenten-Arbeitsplätze den 9 Seminarräumen, dem Cafe und dem Veranstaltungsraum sowie den 1000 m<sup>2</sup> Bibliothek folgendes Resümee gezogen:

- Kostenrahmen mit 26,5 Mio. € 1,5 Mio. € günstiger als geplant (Baubudget von 22 Mio € eingehalten)
- Fertigstellung just in time zum Wintersemester 2021/2022
- hervorragende Zusammenarbeit mit Architekt Lager in der Nachplanung
- hervorragende Zusammenarbeit mit ZÜBLIN in der Bauphase



Abbildung 10: Impressionen (Bildquelle: Universität Witten/Herdecke, © Johannes Buldmann)



**Block A2**  
**Bauen im Blickwinkel der aktuellen**  
**Zertifizierung und Finanzierung**  
**von Projekten**



# QNG – Paradigmenwechsel in der Bauförderung

Holger König  
Ascona GbR  
Gröbenzell, Deutschland





# QNG-Beispiel eines Gebäudes

## 1. Anwendung der Ökobilanz in Deutschland

Die Anwendung der Ökobilanz im Gebäudesektor in Deutschland ist eng verknüpft mit der Normenentwicklung der europ. Union (TC 350) und mit der Einführung von Zertifizierungssystemen (BNB, DGNB, NaWoh).



Abbildung 1-1: Normenentwicklung für Ökobilanzen

Die Normenentwicklung ausgehend von ISO über CEN bis zu DIN dauerte 20 Jahre. Die verschiedenen Zertifizierungssysteme wurden in Deutschland von 2009 bis 2015 eingeführt.



Abbildung 1-2: Zertifizierungssysteme in Deutschland

Die Anwendung eines Zertifizierungssystems auf ein Gebäude ist freiwillig. Es besteht kein Zwang zu einem öffentlich rechtlichen Nachweis. Ein wesentlicher Bestandteil der Zertifizierung ist die Lebenszyklusbetrachtung, die bei den Lebenszykluskosten und bei der Ökobilanz angewendet wird.

Im Zusammenhang mit der Ökobilanz werden drei Zielkonzepte für das Gebäude angesprochen:

- Der Primärenergiebedarf
- Die Wirkung auf die Umwelt
- Die Ressourcenschonung

Der Primärenergiebedarf wird unterteilt in «erneuerbar» und «nicht erneuerbar», die Wirkungsbilanz auf die Umwelt wird mit fünf oder mehr Indikatoren nachgewiesen, der bekannteste Indikator ist das Klimagaspotenzial in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

Die Ressourcenschonung wird zurzeit noch durch den Nachweis für Holz aus gesicherter Waldnutzung erbracht. In Zukunft wird es auch hier einen Indikator z.B. kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) geben.

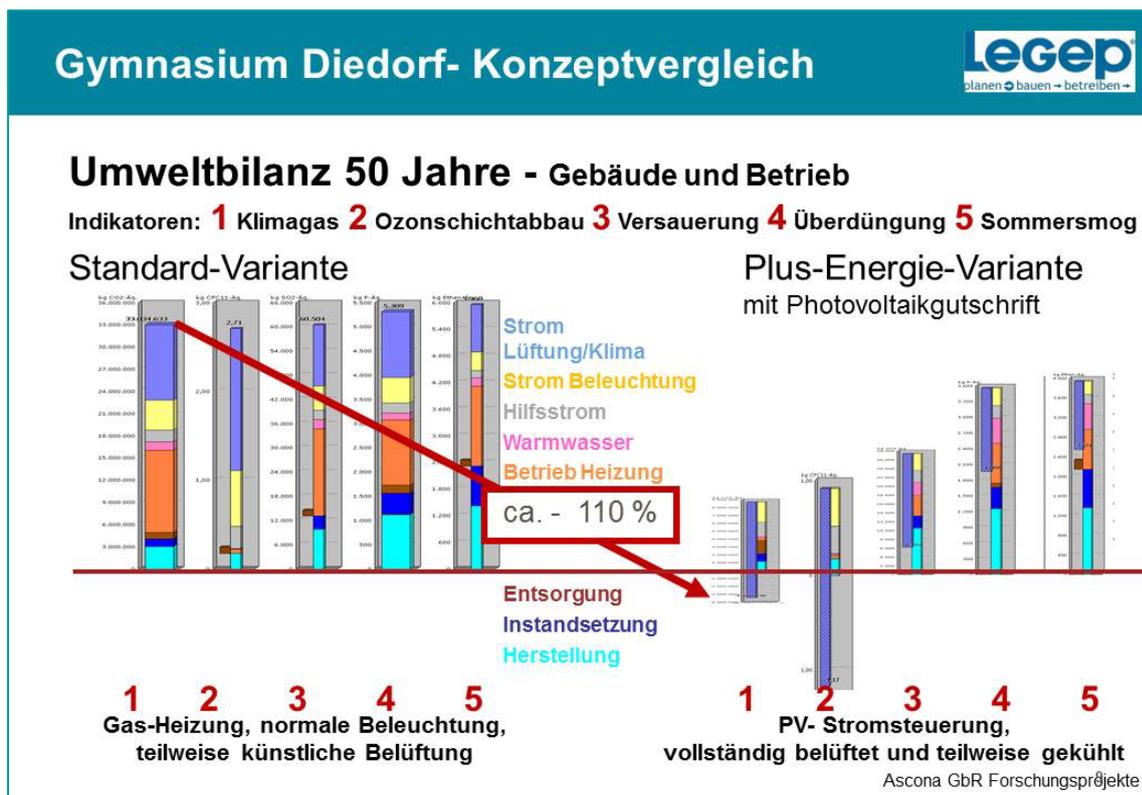


Abbildung 1-3: Beispiel Ökobilanz eines Schulgebäudes

## 2. Der pflanzliche Kohlenstoffkreislauf

Pflanzen verwandeln durch Photosynthese das Kohlendioxid aus der Luft mithilfe der Energie des Sonnenlichts in Saccharide. Diese Grundsubstanz wird unter anderem in Zellulose umgebaut, eine Aufbaustoff für die Faser- beziehungsweise Holzbildung. Dabei wird der für den Menschen lebensnotwendige Sauerstoff freigesetzt. Da der Kohlenstoff im Holz beziehungsweise in den daraus hergestellten Bauprodukten gebunden ist, wird ein Gebäude aus Holzprodukten auch Kohlenstoffspeicher genannt. Nach Ende der Nutzungsphase kann das Bauprodukt weiter- oder wiederverwendet werden. Bei Nichtverwendung kann das Material problemlos verbrannt (thermisches Recycling) und die dabei entstehende Wärme genutzt werden.

Deshalb weisen nachwachsende Rohstoffe in der Ökobilanz günstige Werte auf. In einer umfassenden Forschungsstudie für das Landesamt für Umwelt wurde dieser Sachverhalt überzeugend dargestellt.

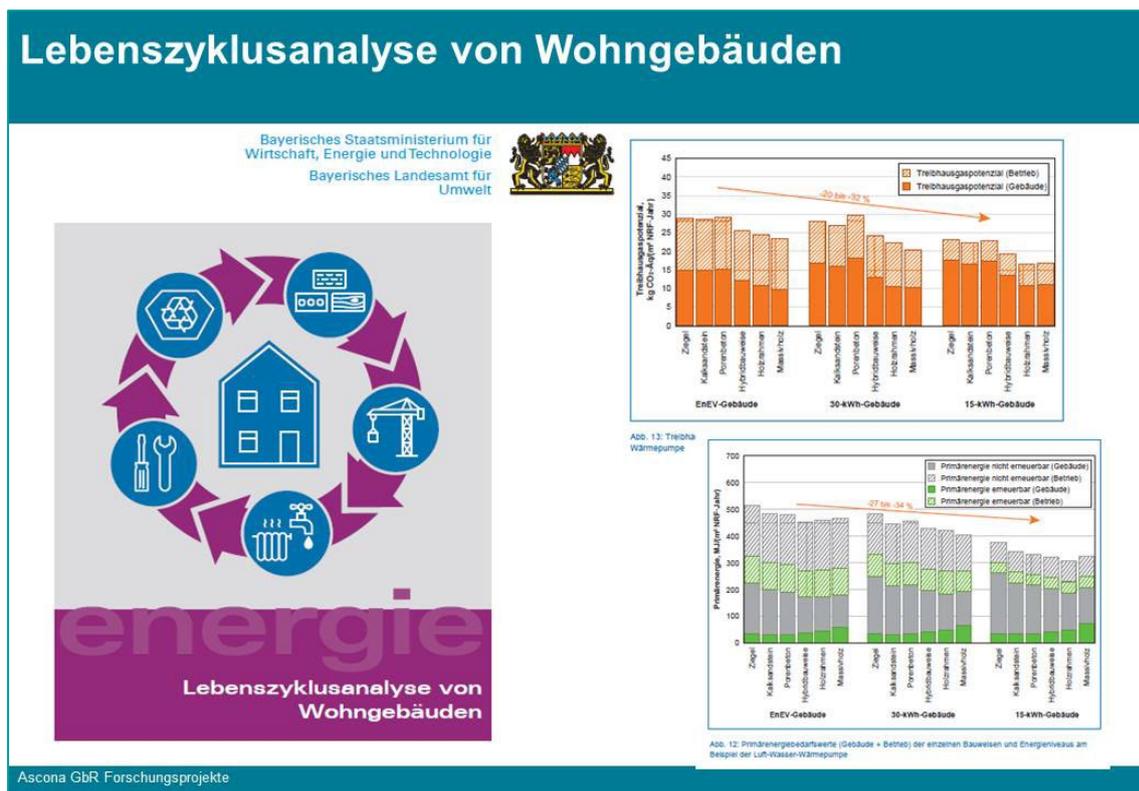


Abbildung 2-1: Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden

### 3. Das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude QNG

Nach 12 Jahren Zertifizierung und Prüfung der Ökobilanz als Steuerungsinstrument für Umweltbelastungen wurde deren Anwendung im Juni 2021 in die Bauförderung übernommen. Mit diesem Schritt werden die staatlichen Bemühungen von dem Fokus der energetischen Qualität eines Gebäudes erweitert auf die graue Energie bzw. die grauen Emissionen bei der Errichtung, Instandsetzung und Beseitigung des Gebäudes.

#### 3.1. Die QNG-Regeln

Zur Teilnahme an dem Förderpaket hat der Gesetzgeber einige Anforderungen formuliert, wobei zwischen der Nutzungskategorie «Wohnungsbau» und «Nichtwohnungsbau» Unterschiede bestehen.

##### Wohnungsbau:

Das Gebäude muss durch ein vom Siegelgeber **registriertes Bewertungssystem zertifiziert sein**. Dies bedeutet, dass das Gebäude die Mindestanforderungen dieser Systeme erfüllen muss. Anerkannt sind im Moment folgende Systeme:

- **DGNB Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen**
- **NaWoh Nachhaltiger Wohnungsbau**
- **BNK Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnbau.**

##### Nichtwohnungsbau:

Das Gebäude muss durch ein vom Siegelgeber **registriertes Bewertungssystem zertifiziert sein**. Dies bedeutet, dass das Gebäude die Mindestanforderungen dieser Systeme erfüllen muss. Anerkannt sind im Moment folgende Systeme:

- **DGNB Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen**
- **BNB Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BUND)**

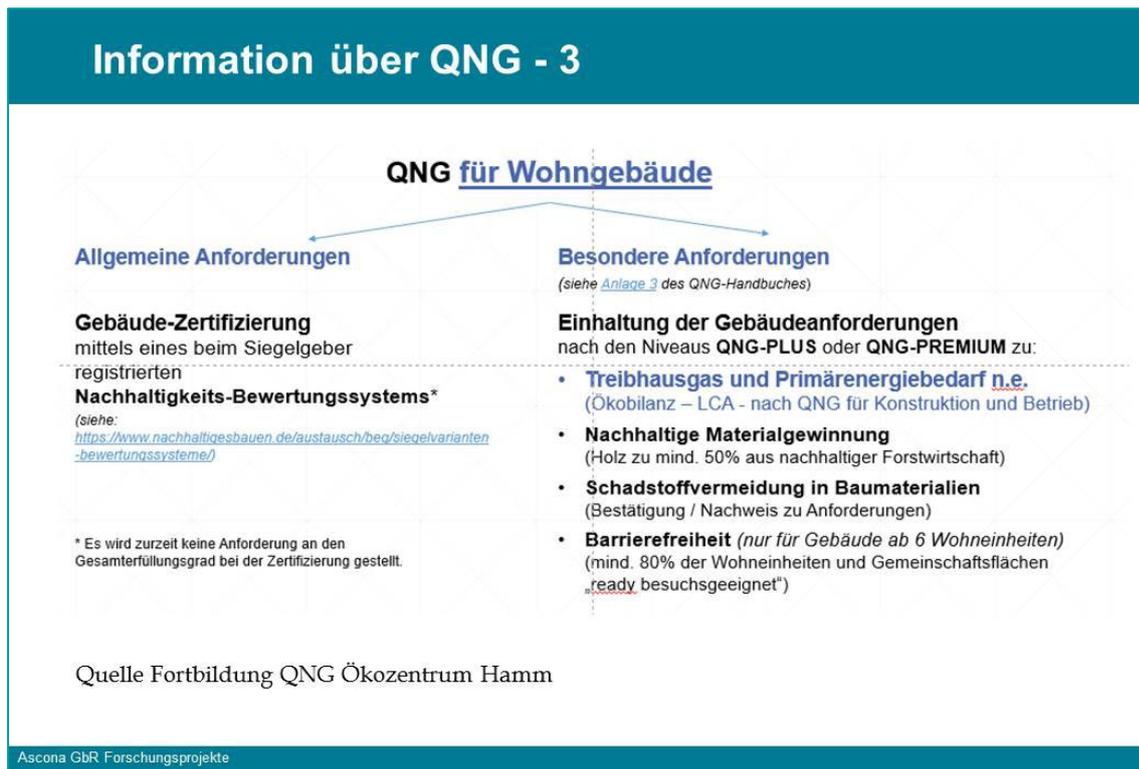


Abbildung 3-1: Anforderung QNG für Wohngebäude

Nach dem Durchlauf durch das gewählte Zertifizierungssystem müssen weitere Anforderungen erfüllt werden.

#### Wohnungsbau:

Das Qualitätssiegel hat bei vier Kriterien eigene Anforderungen, die erfüllt werden müssen:

- **Ökobilanz**
- **Barrierefreiheit**
- **Schadstoffvermeidung in Baumaterialien**
- **Nachhaltige Materialgewinnung**

Folgende **Regeln** sind zu berücksichtigen:

- Es wird ein **Nutzerstrom mit 20 kWh/m<sup>2</sup>\*a** pro m<sup>2</sup> beh. Fläche angesetzt.
- Es wird ein **Sockelbetrag** für die Grundinstallation der Haustechnik angesetzt.
- Die **Effizienz der PV-Anlage** wird standortgerecht berücksichtigt.  
Der Eigenverbrauch des erzeugten Stroms wird berücksichtigt.

Es gilt die Erfüllung der Anforderungen für zwei Bewertungsniveaus nachzuweisen:

- **QNG-Plus**
- **QNG-Premium**

Benchmark QNG - Wohnungsbau			Legep® bauen • berechnen • betreiben	
Module		Bezugs- fläche	Niveau I PLUS	Niveau II PREMIUM
			Normal EH 55	Gehoben EH 40 PLUS mit Speicher
Gesamter Lebenszyklus	<b>Primärenergie nicht erneuerbar in kWh/m<sup>2</sup>*a</b>	NRF	<b>96</b>	<b>64</b>
	<b>Treibhausgaspoten- zial in kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>*a</b>	NRF	<b>28 reduziert auf 24 ab 1.1.2023</b>	<b>20</b>

Ascona GbR Forschungsprojekte

Abbildung 3-2: Benchmark QNG für Wohngebäude

**Nichtwohnungsbau:**

Das Qualitätssiegel hat bei vier Kriterien eigene Anforderungen, die erfüllt werden müssen:

- **Ökobilanz**
- **Barrierefreiheit**
- **Schadstoffvermeidung in Baumaterialien**
- **Nachhaltige Materialgewinnung**

Folgende **Regeln** sind zu berücksichtigen:

Es gilt das **Referenzmodell des GEG**, aber modifiziert:

- Es wird ein **Nutzerstrom** differenziert nach Nutzungskategorie und der Aufzugsstrom ermittelt
- Es wird ein **Sockelbetrag für die Grundinstallation der Haustechnik** angesetzt.
- Die **Effizienz der PV-Anlage** wird standortgerecht berücksichtigt. Der Eigenverbrauch des erzeugten Stroms wird berücksichtigt.

Es gilt die Erfüllung der Anforderungen für zwei Bewertungsniveaus nachzuweisen:

- **QNG-Plus**
- **QNG-Premium**

**3.2. Vorgehensweise bei der Berechnung**

Zur Erstellung der Ökobilanz werden verschiedene Datenbanken und Informationsmittel benötigt:

- Die Datenbank ÖKOBAUDAT
- Die Informationsdatenbank WECOBIS
- Die Tabelle Nutzungsdauern von Bauteilen
- Umweltproduktdeklarationen EPDs vom Institut Bauen und Umwelt.

Bisher noch nicht bei den üblichen Baudaten berücksichtigt ist die Lebenszyklusbetrachtung. Diese beinhaltet folgende Module:

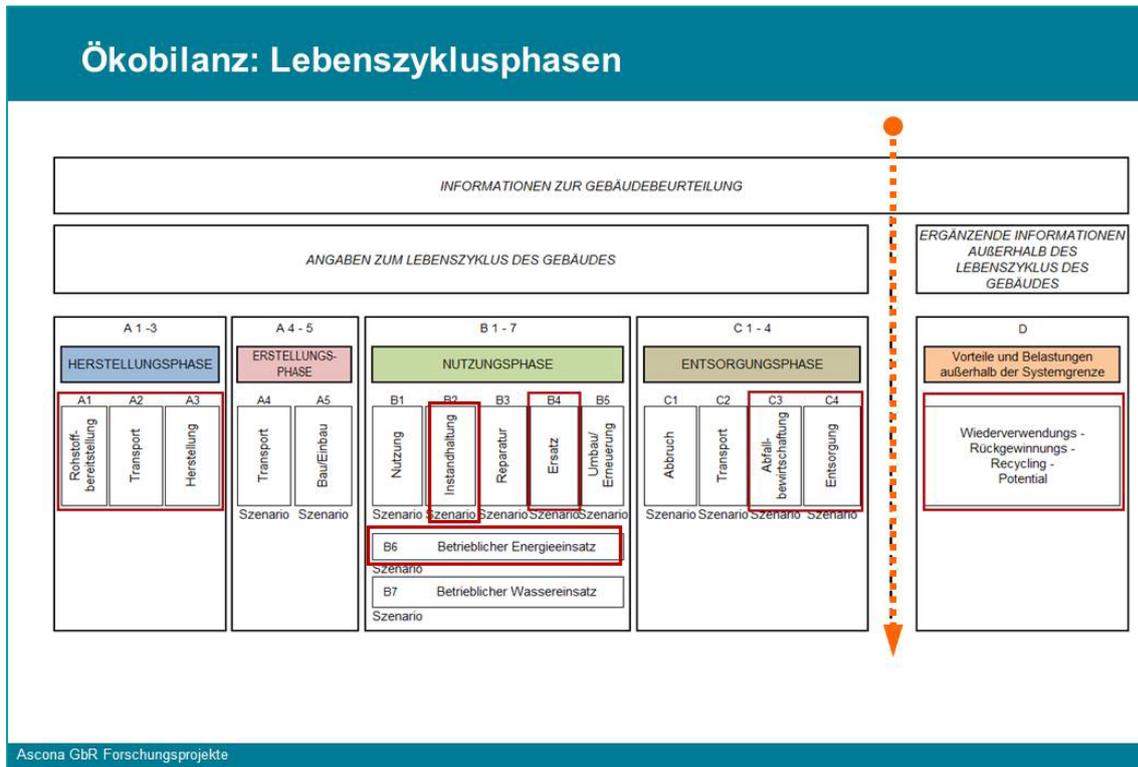


Abbildung 3-3: Module des Lebenszyklus von Gebäuden

### 3.3. Ergebnis der Berechnung

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis einer Berechnung für ein Wohngebäude mit zwei Geschosswohnungen. Das Gebäude wurde in der Primärkonstruktion als Massivholzgebäude errichtet, Beheizung über Wärmepumpe. Zusätzlich ist eine mittlere PV-Anlage mit Speicher installiert.

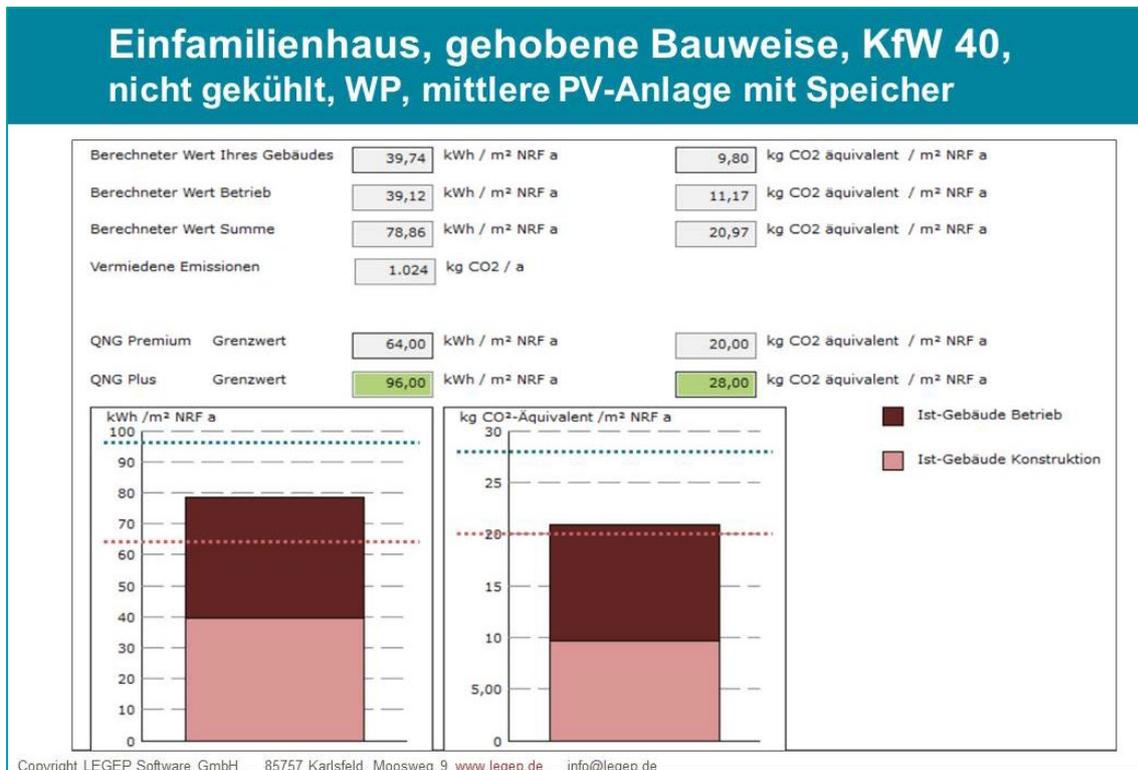


Abbildung 3-4: Ergebnis QNG-Berechnung

# Materialaspekte aus dem Blickwinkel der Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)

Karl-Heinz Weinisch  
Geschäftsführer, Bausachverständiger  
IQUH GmbH  
Institut für Qualitätsmanagement und Umfeldhygiene,  
Weikersheim, Deutschland





# Materialaspekte aus dem Blickwinkel der Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)

## 1. Ziel einer nachhaltigeren Bauweise

Anders als noch vor 50 Jahren wird heute vermehrt auf die Gesundheits- und Umweltauswirkungen von Baustoffen geachtet. Materialaspekte beeinflussen elementar eine nachhaltigere Bauweise – von der Planung über den Bau bis zur Nutzungsphase, aber auch die Renovierungen oder den Rückbau eines Gebäudes. Gleichzeitig hat sich die Fugen- und Luftdichtheit von Gebäuden verbessert, um Wärmeverluste zu reduzieren und die Energieeffizienz zu erhöhen. Dies hat jedoch auch Auswirkungen auf die Raumklima- und Raumluftqualität, da durch die erhöhte Dichtheit weniger Frischluft von außen ins Gebäude gelangt und Schadstoffe und Feuchtigkeit eingeschlossen werden können. Ein Mangel an ausreichender Belüftung kann zu einer Vielzahl von Gesundheitsproblemen führen wie Atemwegsbeschwerden und Schimmelbildung. Um diese Probleme zu vermeiden, sollten Gebäude ausreichend oft quergelüftet werden oder über technische Be- und Entlüftungssysteme verfügen und die zu verwendenden Materialien sollten sorgfältig hinsichtlich möglicher Schadstoffabgaben geprüft werden. Um eine nachhaltigere und gesündere Bauweise zu fördern, wurden von staatlichen Behörden neue Qualitätsziele und ein Baustoff-Informationssystem (wecobis<sup>1</sup>) veröffentlicht.



Abbildung 1: Stoffkreislauf – Übersicht über mögliche Umwelteinflüsse von Baustoffen (Arch. R. Sonn, IQUH)

Wenn Gebäude mit überwachten Baustoffen oder Bauteilen geplant und gebaut werden sollen, die den Menschen und die Umwelt möglichst nicht gefährden, und wenn sich diese auch wieder gut in den Stoffkreislauf zurückführen lassen, erhalten sie ein QNG<sup>2</sup>-Siegel und werden mit KfW-Krediten<sup>3</sup> gefördert.

<sup>1</sup> WECOBIS baubook-Datenbank des Bundes: QNG/BNB-Planungshilfen/Textbausteine/materialökologische Produktinfos gemäß den Anforderungen des BNB-Kriteriensteckbrief 1.1.6

<sup>2</sup> QNG = Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude

<sup>3</sup> KfW/QNG = [www.kfw.de](http://www.kfw.de), Kreditvergabe zur Förderung von förderfähigen Neubauvorhaben und Komplettanierungen

Voraussetzung für die Vergabe des Qualitätssiegels ist ein Nachweis der Erfüllung allgemeiner und besonderer Anforderungen an die ökologische, soziokulturelle und ökonomische Qualität von Gebäuden. Recycelte Stoffe oder nachwachsende Rohstoffe wie Holz oder pflanzliche Dämmstoffe erfüllen diese Zielvorgaben zumeist vorbildlich. Bei Materialprüfungen werden die Auswirkungen auf die Arbeits-, Umwelt- und Bewohnerverträglichkeit betrachtet. Die Berücksichtigung von ökologischen Vorteilen soll für eine weltweite Klimaverbesserung und ein behagliches Wohnumfeld sorgen. Dabei sind Auswirkungen in der Herstellungs-, Liefer-, Verarbeitungs- und während der Nutzungsphase insbesondere bei der Gebäudepflege, den Instandhaltungen und Renovierungen oder beim Rückbau zu betrachten, um Umwelt- und Gesundheitsrisiken durch Bauprozesse und Schadstoffemissionen vermeiden zu können.

### 1.1. Materialökologie

Als Beitrag für den Klimaschutz fördern die Bundesministerien für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und für Umwelt, Naturschutz nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) zusammen mit der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) die Schulungen und Öffentlichkeitsarbeit für Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Wegen solcher Bemühungen rücken Rohstoffe wie Holz, Stroh, Flachs, Hanf, Schilf, Kork aber auch Lehm vermehrt ins Interesse der Bauschaffenden und Bauwilligen, vor allem wegen ihrer guten Umweltverträglichkeit.

## 2. QNG-Gesamtprozess

QNG ist ein staatliches Qualitätssiegel für Gebäude und Baumaterialien. Sowohl Neubau als auch Komplettisanierungen werden berücksichtigt. Deutschland hat sich ein ambitioniertes Ziel gesetzt: Bis 2045 soll der Gebäudebestand klimaneutral sein. Der Bund fördert seit 1. Juli 2021 im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) Nachhaltigkeitsaspekte durch eine eigene «NH-Klasse». Der erforderliche Nachweis für die Förderung erfolgt über die Vergabe des Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)<sup>4</sup>. Private Zertifizierungsinitiativen werden eingebunden und erhalten eine einheitliche Bewertungsgrundlage.

### Allgemeine Anforderungen

Grundvoraussetzung für die Verleihung des QNG ist eine Zertifizierung mit einem registrierten Bewertungssystem für nachhaltiges Bauen. Die Bewertung geschieht dabei entsprechend der Systemregeln der Bewertungssysteme.



Abbildung 2: Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 2023

Der Auftraggeber kann neben den QNG/KfW Material-Risikostoffprüfungen noch weitere Qualitätsstandards (QM-Steckbriefe der Systemanbieter/Zertifizierungsstellen) vom Auftragnehmer fordern, zum Beispiel vor der Bauabnahme eine VOC-Raumluftmessung nach den DGNB/BNB/BNK-BNG Vorgaben.

<sup>4</sup> QNG-Siegelvergabe: Zertifizierungsstellen sind als Prüf- und Vergabestellen des «Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude» zuständig für die technisch-operative Abwicklung der Prüfung der Voraussetzungen für die Vergabe des Qualitätssiegels und dessen Zuerkennung. Sie werden von den Bauherinnen und Bauherren beauftragt. Grundsätzlich dürfen nur Zertifizierungsstellen im Bereich der Vergabe des Qualitätssiegels tätig werden, die eine Akkreditierung im Sinne der VO (EG) 765/2008 gemäß ISO/IEC 17065 nachweisen und aufrechterhalten. Die Geschäftsstelle QNG führt eine öffentlich zugängliche Liste der akkreditierten Zertifizierungsstellen auf [www.qng.info](http://www.qng.info).

Zertifizierungssysteme: Stand Mai 2023							
Systemname	Kurz	Verfasser/ Systemhalter	Seit	Nutzungs- Typologie	Status	Nachhaltigkeits- Aspekte	Zielgruppe
Bewertungssystem nachhaltiges Bauen (QM-Steckbriefe)	BNB	Ministerium Berlin +KfW/QNG förderfähig	2009	Büro, Bildung, Labor, Freiraum	Gold, Silber, Bronze	Umwelt, Ökonomie, Soziales, Technik, Prozess	Gebäude des Bundes
Dt. Ges. für Nachhaltiges Bauen (QM-Steckbriefe)	DGNB	DGNB e.V. +KfW/QNG förderfähig	2009	Büro, Bildung, Hotel, Wohnbau, Handelsbau, Labor, Freiraum	Platin, Gold, Silber, Gestaltung, Diamant	Umwelt, Ökonomie, Soziales, Technik, Prozess	Freier Markt
Nachhaltiger Wohnungsbau (QM-Steckbriefe)	NaWoh	Ministerium Berlin, Siegel von NaWoh e.V., + KfW/QNG förderfähig	2012	Neue Wohngebäude	Eingehalten, übererfüllt	Umwelt, Ökonomie, Soziales, Technik, Prozess, Qualität (alle reduziert)	Wohnungswirtschaft, Mehrfamilien Häuser
Bewertungssystem Kleinwohnhausbau (QM-Steckbriefe)	BNK	BiRN e.V., +KfW/QNG förderfähig	2016	Ein- bis Fünffamilienhäuser	Gold, Silber, Bronze	Umwelt, Ökonomie, Soziales, Technik, Prozess (alle reduziert)	Freier Markt
Diverse Ländersysteme in Bayern, Baden Württemberg, NRW usw. basierend auf dem BNB System, aber reduziert							Gebäude d. Länder
Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QM-Steckbriefe)	QNG	Ministerium Berlin KfW förderfähig	2020	Wohn- und Nichtwohngebäude, Neubau u. Modernisierung	QNG Plus, QNG Premium	Eigene Anforderungen zu Ökologie, Risikostoffe	Fördersystem nach KfW Vorgaben, freier Markt

Abbildung 3: Zertifizierungssysteme zum Nachhaltigen Bauen je nach geplanter Gebäudeart. Änderung: Ab 01.01.2023 können über BNK/BNG-Verfahren alle Wohnraumgrößen QNG-zertifiziert werden.

## 2.1. Aufgabenverteilung beim QNG-Verfahren

1. **Bauwillige:** Beauftragung des Nachhaltigkeitsberaters/Zertifizierungssystem
2. **Nachhaltigkeitsberater/Auditoren:** Beratung zu Bewertungssystem und den Qualitätsstufen und notwendigen Leistungen, Abstimmung mit der Zertifizierungsstelle, Erstellung und Abstimmung von Pre-Check/Zielvereinbarung mit Bauherrin/Bauherr und Planungsbeteiligten
3. **Planungsbüro/Generalübernehmer:** Ermittlung der Standortqualität, Mitwirkung bei der Zielvereinbarung

### **Ablaufschema für die KfW-Kreditfreigabe QNG Plus oder Premium:**

1. Bauwillige planen Gebäudeerstellung mit Unterstützung eines QNG/KfW Kredits.
2. Als erstes sollte eine nachweisbare Beratung durch den QNG-Nachhaltigkeitsberater (BiRN/NaWoh/DGNB Consultant/Auditor) vor Antragstellung bei der KfW (Pre-Check) eingereicht werden. Dabei wird das zuständige Prüfverfahren für das jeweilige Bauvorhaben beraten.
3. Pre-Check durch QNG-Nachhaltigkeitsberater (zzgl. Beratung aller Qualitätsstufen der BNB/DGNB/BNK-BNG/NaWoh Systeme für Wohn- und Nichtwohngebäude). Grundlage ist die aktuelle Version 1.3 vom März 2023, laufende Änderungen auf der QNG-Homepage [www.qng.info/service](http://www.qng.info/service) sind zu beachten.
4. Die Anmeldung der Zertifizierungsart erfolgt parallel dazu z.B. bei der DGNB. (Meldung der DGNB-Qualitätsstufe und des QNG-Systems)
5. Beantragung der Förderung bei der KfW (Bestätigung NH-Bonus bei der Anmeldung) vor Abschluss der Liefer- und Leistungsverträge.
6. Beantragung der Förderung bei der KfW (Bestätigung NH-Bonus bei der Anmeldung) vor Abschluss der Liefer- und Leistungsverträge.
7. Förderfreigabe durch KfW-Bank als Nachhaltigkeitsklasse (NH) Plus oder Premium
8. Bau- oder Generalübernehmer soll ein Angebot abgeben unter Einhaltung der QNG/KfW-Förderkriterien wie Material-Risikostoffprüfung unter Berücksichtigung der QNG-Qualitätsanforderungen und benötigt eine Freigabe durch einen zugelassenen QNG-Nachhaltigkeitsberater/Auditoren und dessen autorisierten BNB/DGNB/BNK-BNG Prüfstelle.
9. Durchführung des Bauvorhabens und Fertigstellung.

10. Zertifizierung nach Abschluss der Baumaßnahme und Inbetriebnahme sowie Übergabe des Gebäudes.
11. Meldung der erfolgten Zertifizierung durch den Nachhaltigkeitsberater bei der Geschäftsstelle Nachhaltiges Bauen (BBSR- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung).
12. Der Antragsteller erhält eine Registrierungsnummer, mit der der Erhalt des QNG-Siegels gegenüber der KfW nachgewiesen werden kann.

**Anforderungsbereiche:** Übersicht der Gebäudeanforderungen für den Neubau und die Komplettmodernisierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden (WG und NW) vom 01.01.2023.

- Anforderung 1 für WG und NW sind die Treibhausemissionen und Primärenergiebedarf
- **Anforderung 2 für WG und NW ist die Nachhaltige Materialgewinnung**
- **Anforderung 3 für WG und NW ist die Schadstoffvermeidung in Baumaterialien**
- Anforderung 4 für WG und NW ist die Barrierefreiheit
- Anforderung 5 nur für NW ist die Einschätzung der Naturgefahren am Standort
- **Anforderung 6 nur für NW sind die Vorgaben für Gründächer**

Zudem sind in jedem Zertifizierungssystem (NaWoh, BiRN/BNK/BNG, DGNB, BNB) noch unterschiedliche Qualitätsanforderungen (Steckbriefe) zur Risikostoff-Materialprüfung und zu den Raumluftmessungen möglich.

### 3. QNG-Materialanforderungen

Umweltschonende und energieeinsparende QNG-Anforderungen werden laufend angepasst und sind zwingend einzuhalten, wenn mit KfW-Fördermitteln gebaut wird. QNG-Grundlage ist die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG/QNG Broschüre). Die Bewertungsregeln entstammen dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB-Leitfaden – [www.bnb-nachhaltigesbauen.de](http://www.bnb-nachhaltigesbauen.de)) des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen.

#### 3.1. Erforderliche Materialnachweise beim QNG Prozess

Für die Material-Risikostoffprüfung gibt es den **QNG-Anforderungskatalog für Baumaterialien** mit Anwendungsregeln, deren Prüfung für ein ganzes Gebäude umfangreich sein kann. Hilfe für Planer und Nachhaltigkeitsberater gibt es in der WECOBIS/baubook Datenbank.

Für die Erlangung des QNG wurden konkrete Anforderungen an einzelne Bauprodukte formuliert. Um in den Genuss von Fördermitteln zu kommen, ist für das **QNG-PLUS** die Einhaltung dieser Anforderungen von den ausführenden Firmen zu bestätigen. **QNG-PREMIUM** erfordert eine genaue Dokumentation der verwendeten Baustoffe und bietet somit zusätzlich eine höhere Transparenz und Vorteile für Sanierung und Rückbau.

Beim QNG Plus:

1. Liste der beteiligten Firmen mit Angabe der Leistungsbereiche
2. Vertragsauszüge und/oder Qualitätssicherungsvereinbarungen
3. Firmenerklärungen und/oder Auszüge aus Abnahmeprotokollen

Beim QNG Premium:

1. Tabellarische Aufführung aller neu eingebauten Materialien und Produkte, für die Anforderungen bestehen mit allen für die Bewertung erforderlichen Angaben.
2. Unterlagen neu eingebauter Materialien und Produkte zum Nachweis der Einhaltung der Anforderungen (technische Datenblätter, Sicherheitsdatenblätter, Nachhaltigkeitsdatenblätter und/oder Herstellererklärungen)

#### **Anwendungsregeln (QNG-Anhangdokument 3.1.3 v. 01. März 2023):**

1. Grundsätzlich sind alle verwendeten Bauprodukte / Erzeugnisse der im jeweiligen Anforderungskatalog genannten Kategorien hinsichtlich Produktname, Hersteller, Menge und Einsatzort zu dokumentieren. Darüber hinaus gelten die Dokumentationsregeln des in Bezug genommenen registrierten Zertifizierungssystems.

2. Im Rahmen der Einführungsphase des QNG<sup>5</sup> sind nur die Produkte / Erzeugnisse / Stoffe zu bewerten, die Vor-Ort verarbeitet oder eingebaut werden.
3. Gebäude können nur bewertet werden, wenn der Ausbau auch vollständig erfolgt ist. Selbstausbauklauseln reichen für die Nachweisführung nicht aus.
4. Ab einer Verarbeitungsmengen von >10 m<sup>2</sup>, 1 Stück oder ab einer Länge von 1 Meter ist im Regelfall eine Bewertung aller in der Anforderungsliste aufgeführten Bauprodukte durchzuführen.
5. Die Gesamtmenge aller bewerteten Bauprodukte / Erzeugnisse muss mindestens 90 % der in den jeweiligen Kategorien 2 bis 13 erfassten Mengen entsprechen. Die erreichte Abbildungstiefe ist je Kategorie zu ermitteln und darzustellen.
6. Ausnahmeregelungen: Ist aus technischen oder funktionalen Gründen (d. h. in Ermangelung eines funktional gleichwertigen Produktes oder einer Konstruktionsalternative, welche die Anforderungen erfüllt), eine der genannten Produkthanforderungen nicht umsetzbar, werden Ausnahmen von den Anforderungen zugelassen. Die Abweichung von den Anforderungen muss unter Angabe des Produktes, der technischen Anwendung und der eingesetzten Menge dokumentiert, mit der Zertifizierungsstelle abgestimmt und begründet werden. Produktausnahmen aus rein ästhetischen Gründen fallen nicht unter die Ausnahmeregelung.

### **Informationsquelle:**

Das Kriterium «Risiken für die lokale Umwelt» basiert im Wesentlichen auf dem mittleren Qualitätsniveau des Systemsteckbriefs 1.1.6 des BNB<sup>6</sup>. Für die Anwendungsstufe QNG PLUS wurden Anpassungen an einzelne Anforderungen vorgenommen.

## **3.2. Weitere QNG-Anforderungen an Rohstoffe**

### **Holz- und Holzwerkstoffe**

Hinweise zur nachhaltigen Forstwirtschaft<sup>7</sup> sind anzugeben.

1. **QNG-Plus:** «mindestens 70% der neu eingebauten Hölzer, Holzprodukte und / oder Holzwerkstoffe [stammen] nachweislich aus nachhaltiger Forstwirtschaft»
2. **QNG-Premium:** «mindestens 85% der neu eingebauten Hölzer, Holzprodukte und / oder Holzwerkstoffe [stammen] nachweislich aus nachhaltiger Forstwirtschaft»

### **Recyclingstoffanteil**

1. **QNG-Plus:** mindestens 30% der Masse des im Hoch- und Tiefbau neu eingebauten Betons, der neu eingebauten Erdbaustoffe und Pflanzsubstrate (Gesamtmasse) haben einen erheblichen Recyclinganteil haben.
2. **QNG-Premium:** mindestens 50% der Masse des im Hoch- und Tiefbau neu eingebauten Betons, der neu eingebauten Erdbaustoffe und Pflanzsubstrate (Gesamtmasse) haben einen erheblichen Recyclinganteil haben.

## **3.3. QNG-Stoff- und Emissionsbeschränkungen**

Die Anforderungen enthalten je nach Produktbereich konkrete Stoffbeschränkungen (z. B. Chlorparaffine  $\leq 1\%$ ), Einhaltung von Emissionsanforderungen (Prüfsiegel z. B. AgBB-Schema), Giscode-Klassifizierungen, Zertifizierungen (z. B. Emicode) oder die Deklaration von Stoffen (z. B. biozide Wirkstoffe).

Viele Informationen sind in den bereits verwendeten Technischen Merkblättern, Sicherheitsdatenblättern, EPDs<sup>8</sup> zu finden. Es gibt Überschneidungen mit anderen Zertifizierungssysteme wie BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen).

<sup>5</sup> Für werkseitig verarbeitete Oberflächenbeschichtungen und Klebstoffe (außer Bodenbelagsklebstoffen), z. B. für Türen, Fenster und Heizkörper sind Nachweise zur Einhaltung der 31. BIMSChV bzw. TA-Luft in schriftlicher Form beim Hersteller oder Verarbeiter einzufordern. Für Verarbeitungen in kleinen Betrieben oder außerhalb Deutschlands kann alternativ das Vorhandensein einer Abgasreinigungseinrichtung oder die Einhaltung entsprechender Anforderungen europaweit geltender Regelungen nachgewiesen werden. Liegen all diese Nachweise nicht vor, sind die entsprechenden Bauprodukte gemäß den Anforderungen für Vor-Ort verarbeitete Bauprodukte einzustufen und zu bewerten.

<sup>6</sup> [https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neu-bau/v\\_2015/BNB\\_BN2015\\_116.pdf](https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neu-bau/v_2015/BNB_BN2015_116.pdf)

<sup>7</sup> PEFC, FSC oder vergleichbare Zertifikate oder Einzelnachweise gem. Kriterien des PEFC, FSC-Siegels

<sup>8</sup> EPD: (engl.: Environmental Product Declaration) Umweltproduktdeklaration der Hersteller

Im Rahmen der Einführungsphase des QNG sind nur die Produkte / Erzeugnisse / Stoffe zu bewerten, die Vor-Ort verarbeitet oder eingebaut werden.<sup>9</sup> Folglich müssen Hersteller, deren Hauselemente (z. B. Container- und Elementebau) im Werk produziert werden, den Anforderungskatalog nicht erfüllen, aber es kann vom Auditor eine Umwelt- und Arbeitsschutz-Bestätigung für die Produktionsanlagen eingefordert werden.

Es wird empfohlen, dass Baustoffhersteller zukünftig ihre Produkte hinsichtlich der Einhaltung der QNG-Anforderungen prüfen lassen und diese Informationen für die Lieferkette vorhalten.

### 3.4. Produktdatenabfrage im Pre-Check

Schon bei der Vorplanung von Gebäuden können neben der Ökobilanzierung auch risikostoff- und emissionsbezogene Baustoffbewertungen mit einem QNG Pre-Check vorgenommen werden.

Haben die zum Einsatz kommenden Produkte z.B. ein Emissionsprüfzeugnis gemäß AgBB bzw. DIN EN 16516 oder EN 717-1/DIBt Regelung? Emissionsprüfzeichen im Baubereich sind beispielsweise natureplus oder der Blaue Engel<sup>10</sup>. Schadstoffgeprüfte Baustoffe werden heute gemäß den Anforderungen in den Leistungsverzeichnissen für öffentliche und verwaltungstechnische Gebäude und auch für private Bauvorhaben immer häufiger gefordert und werden gemäß den Vorgaben in der DIN EN 16516 durchgeführt. Die Kenntnis der Inhaltsstoffe im Technischen Merkblatt oder Sicherheitsdatenblatt des gelieferten und eingebauten Produkts ist hilfreich. Schon bei der Anfrage der Verfügbarkeit sollte man sich beim Baustofflieferanten oder Hersteller die Erfüllung der QNG-Anforderungen bestätigen lassen.

### 3.5. Risikostoffprüfung

Durch REACH<sup>11</sup> wird versucht die problematische Informationslage über Rohstoffe im Bauwesen aufzulösen. Diese Vorprüfung der Risikostoffe müssen Rohstofflieferanten erfüllen, um in Europa marktfähig zu bleiben.



Abbildung 4: Quelle-REACH Informationspflichten – über diesen Weg müssen Prüfzertifikate und Herstellererklärungen an alle Marktteilnehmer weitergeleitet werden

<sup>9</sup> QNG-Anforderungskatalog Anhangdokument 313, 0.2 Anwendungsregeln

<sup>10</sup> Prüfverfahren: AgBB, Eurofins; natureplus; eco Institut; IBR; EU Eco Label (Möbel); französische VOC Verordnung; Blauer Engel; Afset; Goldenes M; RIS Österreich

<sup>11</sup> REACH = engl.: Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals – dt. Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien

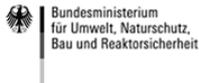
Bei der QNG Risikostoffprüfung sind weitergehende Informationen zu etwaigen SVHC (substances of very high concern, besonders besorgniserregende Stoffe) im Baustoff einzuholen. Umweltprüfungen wie EPDs aber auch Sicherheitsdatenblätter können Hinweise zur Gesundheits- und Umweltgefährdung für Boden/Wasser/Luft/Mensch geben sowie Auskunft über die Rohstoffherkunft, Fertigungsverfahren und physikalische Kennwerte.

Die Datenermittlung umfasst die Nachweisführung für die Risikopotenziale bestimmter Inhaltsstoffe und die methodische Vorgehensweise im Bauprozess. Standen bisher Schad- und Risikostoffe vor allem unter dem Aspekt der Belastung der Innenraumluft zur Diskussion, so muss diese Betrachtung heute erweitert werden. Die Kenntnis über Risikostoffabgaben, beginnend bei der Herstellung und endend bei der Entsorgung, wird zunehmend bedeutender.

Abbildung 5: Auszug aus QNG-Anforderungskatalog/Anhang 313 vom 18.04.2023

### 3.6. QNG-Risikostoffprüfung 1.3.1 und BNB-Bewertungssystem 1.1.6

Die Planungsabläufe in Holzbaubetrieben oder Architekturbüros sollten es ermöglichen, belastbare Auswahlkriterien für Baustoffe zu entwickeln, um zielorientiert nachhaltige Bauprodukte auszuwählen für den Einsatz in regelkonformen Konstruktionen. Dadurch sollten zudem die vorgegebenen Raumluftzielwerte für eine behagliche Raumklima- und Raumluftqualität sicher eingehalten werden. Ferner können natürliche Baustoffe wie Holz durch ihre vorteilhaften Kapillareigenschaften effektiv den Feuchteaustausch in der Raumluft verbessern. Eine holzbaubezogene Materialvorprüfung (Pre-Check) macht schon bei der Angebotsabgabe Sinn und bildet die Grundlage für die Zertifizierungsverfahren wie QNG/BNB/DGNB/BNK-BNG/Nawoh.



## Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Büro- und Verwaltungsgebäude

BNB\_BN  
**1.1.6**

Hauptkriteriengruppe	<b>Ökologische Qualität</b>
Kriteriengruppe	<b>Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt</b>
Kriterium	<b>Risiken für die lokale Umwelt</b>

### Erforderliche Unterlagen

Tabellarische Auflistung aller relevanten, eingebauten Bauprodukte und technischen Anlagen mit folgenden Angaben zu jedem Produkt:

- Kostengruppe und Bauteilname (KG 3. Ebene)
- Einbauort / Bauteilgruppe (KG 2. Ebene)
- Leistungsbereich mit LV-/Pos.-Nr.
- Menge
- Prozentualer Anteil des gesamten Bauteils
- Produktart und -name
- Hersteller
- Datenblätter (siehe hierzu Übersicht der grundsätzlich relevanten Nachweisdokumente in Tabelle 2)
- Begründung der Bewertung
- Erreichte Qualitätsstufe

Übersicht aller Nachweisdokumente  
Nachweisdokumente mit entsprechender Kennzeichnung – siehe Abschnitt „Handhabung der Nachweisdokumente“ (nur digital einzureichen)  
Leistungsverzeichnisse aller Gewerke (nur digital einzureichen)

Abbildung 6: Erforderliche Unterlagen gemäß BNB 1.1.6, S. 18

Die WECOBIS Plattform bietet zusätzliche produktneutrale Informationen zu Umwelt- und Gesundheitsaspekten wichtiger Bauproduktgruppen. Man muss jedoch beachten, dass Produkte, die zur gleichen Bauproduktgruppe gehören, im Detail unterschiedliche ökologische Kennwerte aufweisen können (z. B. VOC-Anteile, Risikostoffe, Rohstoffbasis). Neben der Generierung von Datensätzen für das Handlungsinstrument besteht zudem die Möglichkeit, Fachbegriffe aus dem Umfeld des Kriteriums 1.1.6 (BNB-System) im WECOBIS-Lexikon zu erklären und aus dem Handlungsinstrument direkt darauf zu verlinken. Auch für die WECOBIS-Nutzer, die keine Gebäudebewertung vornehmen möchten, könnte die Information über das «Abschneiden» einer Produktgruppe im Kriterium 1.1.6 eine interessante Information darstellen.



**WECOBIS**  
Ökologisches Baustoffinformationssystem

## baobook-Produktinformationen zu BNB und QNG

baobook ermöglicht seit Herbst 2022 auch das Abrufen von Informationen zu Produkten gemäß Anforderungen für das neue Qualitätssiegel Nachhaltiges Bauen (QNG). Dafür wurde die Produktdatenbank für BNB\_1.1.6-Anforderungen entsprechend um die QNG-313-Anforderungen an Baustoffe erweitert.

Die Datenbank erleichtert die Suche nach passenden Produkten für die jeweiligen Qualitätsniveaus bzw. Anforderungen und bietet gleichzeitig Unterstützung bei der Nachweisführung. Denn man findet dort auch die zugehörigen Nachweisdokumente zum Download.

Die neue Plattform ist das Ergebnis des Forschungsprojektes "Qualitätsgesicherte Produktinformation zum BNB 1.1.6 Kriteriensteckbrief in der Ausformulierung der materialökologischen Anforderungen von WECOBIS" und wurde gefördert durch Zukunft Bau – eine Forschungsinitiative des deutschen Bundesbauministeriums und des BBSR (Aktenzeichen: 10.08.18.7-16.19)

Abbildung 7: WECOBIS und baobook als Hilfestellung

**Nachweisdokumente (Quelle: Auszug BNB 1.1.6, S. 22)**

Tabelle 3: Freiwillige aggregierte Produktkennzeichnungen, die i. d. R. in Produktdatenblättern/Technischen Merkblättern angegeben sind

Nachweis	Schadstoffgruppe	Bauproduktgruppe
Blauer Engel (RAL)	Gefährliche Stoffe/SVHC VOC-Emissionen / VOC-Gehalte	Oberflächenbeschichtungen
		Verlegewerkstoffe
		Bodenbeläge
GuT-Teppichsiegel	Gefährliche Stoffe/SVHC VOC-Emissionen / VOC-Gehalte	Textile Bodenbeläge
Emicode	VOC-Emissionen	Verlegewerkstoffe
		Oberflächenbeschichtungen
		Dichtstoffe, Klebstoffe
GISCODE	Gefährliche Stoffe VOC-Gehalte	Oberflächenbeschichtungen Dichtstoffe, Klebstoffe Verlegewerkstoffe
Gütezeichen Holzschutzmittel	Biozide	Holzschutzmittel

**Zusammenstellung des Dateinamens:**

Es empfiehlt sich, dem Dateinamen die Bauproduktart hinzuzufügen, wie exemplarisch in folgender Tabelle 4 dargestellt:

Tabelle 4: Beispiel Dateiname: 01.07.01.002\_Bitumenemulsion\_SDB.pdf

Nr. des LVs	Nr. der LV-Pos.	Produktart	Nachweisdokument
01.07.	01.002	Bitumenemulsion	SDB

**Beispiele für Kurzzeichen der entsprechenden Nachweisdokumente:**

PDB / TM	Produktdatenblatt / Technisches Merkblatt
SDB	Sicherheitsdatenblatt
abZ	allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
RAL-UZxy	RAL Kennung des Umweltzeichen „Blauer Engel“
EPD	Umweltdeklaration des IBU Institut Bauen und Umwelt e. V.
TRGSxyz	Nachweis über Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)
WECOBIS	WECOBIS Informationsdatenbank (im Ausnahmefall)

ggf. nach Bedarf zu erweitern

**4. Raum(klima)luftmessung**

Messungen der Raumklima- und Raumluftqualität sind beim QNG-Verfahren nicht vorgeschrieben, werden aber zunehmend vom Auftraggeber und gemäß dem anhängenden Prüfverfahren (DGNB/NaWoh/BNK-BNG/BNB)<sup>12</sup> bei der Bauabnahme als Erfolgskontrolle gefordert. Mit dieser Qualitätskontrolle will man sicher gehen, dass tatsächlich die geprüften und emissionsreduzierten Baustoffe im Gebäude eingebaut wurden. Zudem wird geprüft, ob die Raumluft-Zielwerte eingehalten werden können.

In der Planungsphase kann durch die Auswahl geruchs- und emissionsarmer Bauprodukte bereits die Grundlage für Innenräume mit niedrigen Immissionen an flüchtigen organischen Verbindungen, Formaldehyd und geruchsaktiven Stoffen geschaffen werden. Durch bauphysikalisch einwandfreie und fugenfreie Konstruktionen wird die Grundlage zur Vermeidung von Kondensat Feuchte und folglich von mikrobiellen Verunreinigungen wie Schimmelpilzbefall geschaffen. Eine wesentliche Steuerungsmöglichkeit zur Reduzierung des Kohlendioxidgehalts und anderer Stoffe während der Nutzung ist ein ausreichender Luftwechsel.

<sup>12</sup> Die Auswahl emissionsarmer Bauprodukte ist maßgeblich für eine gute Innenraumluftqualität. Als Kontrolle über den Erfolg der Umsetzung wird nach Baufertigstellung eine Beprobung der Innenraumluft durchgeführt (siehe Kriteriensteckbrief 3.1.3 «Innenraumlufthygiene»).

Für die Beurteilung der Innenraumluftqualität werden die folgenden Teilkriterien herangezogen: Flüchtige organische Verbindungen (VOC), Formaldehyd und Kohlendioxidgehalt. Um eine möglichst hohe Punktezahl zu erreichen, müssen je nach angestrebter Qualitätsstufe bestimmte Richtwerte<sup>13</sup> eingehalten werden.

Vor allem im Schulbau wird erfahrungsgemäß vor Möblierung und Einzug die Prüfung und Einhaltung der Richtwerte in Anlehnung an den UBA/AIR Richtwertkatalog iVm den BNB/DGNB Richtwerten und die Normenreihe für Raumluftanalysen DIN EN ISO 16000 als qualitätssichernde Maßnahme verlangt. Eine Empfehlungsliste für Messraumvorbereitungen gibt es auf der Internetseite [holz-und-raumluft.de](http://holz-und-raumluft.de) (Informationsdienst Holz). Darin wird beschrieben, wie Bauleiter vorsorglich mögliche messwertverfälschende Gebäude-, Klima- und Messbedingungen vermeiden können. So können Rechtsprobleme wegen nicht erreichten VOC-Zielwerten auf Grund nicht normgerechter und messwertverfälschender Prüfraumvorbereitungen vermieden werden.

Sowohl chemisch produzierte Baustoffe als auch solche aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holz, Holzwerkstoffe, Hanf, Flachs, Zellulose oder Stroh geben natürlicherweise Gerüche, d. h. Ausdünstungen ab, für die es hygienebezogene behördliche Leit- und Richtwerte gibt. Bei Raumluftanalysen, die mit normgerechten Messraumvorbereitungen und unter sensorüberwachten Raumklimabedingungen durchgeführt werden, sind erfahrungsgemäß keine Zielwertüberschreitungen zu erwarten. Anders sieht es aus, wenn Raumluftmessungen beispielsweise bei fehlender Beschattung oder während und kurz nach der Durchführung von emissionsträchtigen Restarbeiten wie Malern, Verkleben, Reinigen oder Abdichten stattfinden.

### Vermeiden Sie vor VOC Messungen...



- Klimaextreme (T, rel. LF, CO2)
  - Sonneneinstrahlung -Photolyse
  - Erhöhte Keller- oder Estrichfeuchtwerte
  - Messung bei Sturm (Fugenentlüftung)
  - Immissionen durch die Umwelt (Lüftung)
  - Lösungs- u. Reinigungsmiteleinsetz
  - Geruchsauffällige Messtechniker
  - Unzureichende Feinstaubreinigung
  - Geringes Ablüften/Sauerstoffmangel
  - Möbel, Baustoffreste, Bodenfolien in Messräumen
- > Messplanung: Koordination mit der Bauleitung vor VOC Messungen!

Abbildung 8: Messraumvorbereitung und Messplanung

Vor jeder VOC-Raumluftmessung sollte daher eine Überprüfung der vorgeschriebenen Schall-, Kohlendioxid- und Klimawerte mithilfe von Sensor Handmessgeräten durchgeführt werden.

<sup>13</sup> BNB Bewertungssystem: BNB\_UK 3.1.3 von 2017

## 4.1. QNG und Lüftungsplanung

Viele Zertifizierungspunkte gibt es für vorbildliche Lüftungsplanungen und beim Erreichen der IDA 1 Kategorie (IDA=InDoorAir) und ausreichend guter Kohlenstoffdioxidwerte:

Tabelle 5: Bewertung des personenbezogenen Außenluftvolumenstroms entsprechend der Kategorien gemäß DIN EN 13779

Qualitätsniveau (QN) / Kategorie	personenbezogener Außenluftvolumenstrom [m <sup>3</sup> /h/Person]	Bewertung
2 / IDA 1	≥ 54*	50
1 / IDA 2	≥ 36*	25
0 / IDA 3	≥ 21,6 und < 36	keine Zertifizierung möglich!

\* Zwischenwerte zwischen IDA 1 und IDA 2 sind abschnittsweise zu interpolieren

Abbildung 9: QN 2 mit maximaler Punktezahl für eine optimal eingestellte Lüftungsanlage – IDA 1

### Fensterlüftung (Stoßlüftung) / hybride Lüftung

Pkt	Anforderungsniveau
45	Beschreibung Qualitätsniveau 2: Personenbezogener Außenluftvolumenstrom ≥ 54 [m <sup>3</sup> /h/Person] (CO <sub>2</sub> -Konzentration im Mittel innerhalb eines Lüftungsintervalls ≤ 800 ppm) und Umgebungsärm ≤ 60 dB

Abbildung 10: Bei einer Hybridlüftung muss der Umgebungsärm mit gemessen werden

Bei Räumen für mehr als 3 Personen werden für folgende Aspekte zusätzlich Punkte vergeben oder abgezogen.

	Zusatzpunkte (QN 1 + 2)
+ 10	Automatischer Fensteröffnungsflügel, gekoppelt mit CO <sub>2</sub> -Ampel
+ 5	Sensorgesteuerte Lüftungsampel (CO <sub>2</sub> -Sensor)

## 4.2. Vorbereitung der zu messenden Räume

Quelle: BNB\_UN 3.1.3 S. C2

### Mechanisch belüftete Räume:

Bei Räumen, die vorwiegend mechanisch belüftet werden, erfolgt die Messung gemäß DIN EN ISO 16000-5 unter Betriebsbedingungen, d. h. mindestens drei Stunden nach Inbetriebnahme der Anlage.

### Räume mit Fensterlüftung:

Im Fall ausschließlich natürlich belüfteter Räume erfolgt die Messung als Kurzzeitmessung und zweistufig gemäß DIN EN ISO 16000-5:

- Messung nach 15-minütiger Lüftung und mindestens 8-stündigem geschlossen halten des Raumes (Messung unter Ausgleichsbedingung).
- Messung nach weiterem 5-minütigen Lüften und einer Wartezeit von 1 h (Messung unter Nutzungsbedingungen).

Zur Bewertung wird der 2. Messwert (Nutzungsbedingungen) herangezogen. Wenn in Einzelfällen die 1. Messung (Ausgleichsmessung) einen der zulässigen Werte gemäß QN 0 überschreitet, muss eine Anleitung vorgelegt werden, wie sachgerecht unter Nutzungsbedingungen zu lüften ist (Betriebsanweisung für die erforderliche Raumlüftung), um den Spitzenwert unter Nutzung dauerhaft zu reduzieren.

### Räume mit gemischten Lüftungskonzepten (Hybridlüftung):

Für natürlich belüftete Räume, die mit einer mechanischen Grundlüftung versorgt werden, gelten beide der oben genannten Prüfbedingungen – also wie bei Räumen mit Fensterlüftung.

## 5. Zusammenfassung und Aussichten

Die umwelt- und gesundheitsbezogenen Qualitätsanforderungen an die Bauprodukte und an eine gute Raum(klima)luftqualität steigen kontinuierlich. Produktinformationen wie Materialtransparenz, eine gute Ökobilanz und ein optimaler Gesundheitsschutz werden für Bauwillige immer wichtiger.

Weitere Materialinformationen wie eine vollständige Inhaltsstoffliste fehlen beim QNG-Verfahren, was für Allergiker von Interesse wäre. Die QNG-Ökobilanzierung (ökobaudat Datenpool) bietet beispielsweise für Wandfarben noch keine differenzierte Einstufungsmöglichkeit für unterschiedliche Wandfarbentypen. Daher hat der Nachhaltigkeitsberater kein ökologisches Entscheidungskriterium zwischen einer klimafreundlicheren Naturharz-Wandfarbe und einer klimaschädlicheren Kunstharz-Wandfarbe. Da aber bei der QNG-Risikostoffprüfung solche Wandfarben ausgewählt werden, die eine Emissionsprüfung wie den «Blauen Engel» (DE-ZU 102) vorweisen können, werden kleine Naturharzfarben-Anbieter trotz einer besseren Ökobilanzierung kaum vorgeschlagen, weil sie sich die Emissionsprüfung nicht leisten können. Zudem ist es bedauerlich, dass bei den meisten Umweltprüfzeichen für Dispersions-Wandfarben die klimaschonende bzw. klimaschädigende Rohstoffherkunft als Bewertungskriterium noch fehlt. Ebenso werden beim QNG-Bewertungssystem die Raumklimaeigenschaften durch Oberflächenmaterialien, die pilzhemmende (z. B. Kalk, Silikat) oder feuchteadaptive Vorteile (z. B. Kalk, Silikat, Naturholz- oder Naturharzoberflächen, Lehm) aufweisen, noch nicht berücksichtigt.

Die QNG-Zertifizierung ist grundsätzlich ein Wettbewerbsvorteil für Gebäude aus Holz und ein wichtiges Marketinginstrument bezogen auf den Umwelt- und Klimaschutz. Qualitätsüberwachte Holzgebäude mit optimalen Klima- und (VOC)Raumluftwerten gewinnen zunehmend nicht nur das Interesse der Kapitalanleger und Bauwilligen, sondern das positive Wohngefühl überzeugt auch die Raumnutzer, was in vielen Studien<sup>14</sup> bestätigt werden konnte. Es ist durchaus folgerichtig, wenn man wegen den anstehenden Klimaschutzmaßnahmen den Holzbau fördert. Um so verwunderlicher erscheinen einem dann die unverhältnismäßig strengen VOC-Zielwerte zum natürlichen «Holzgeruch» im DGNB/BNB Zertifizierungsverfahren. Der Waldgeruch ist gesundheitsförderlich, was viele Studien belegen.<sup>15</sup> Forscher wollten daher wissen, ob natürliche Emissionen aus Holz ein raumluft-hygienisches Problem darstellen. Diese entlastenden wissenschaftlichen Studien zur Unbedenklichkeit der Terpenemissionen aus Nadelholz<sup>16</sup> sollten für ein rasches Umdenken und eine Anhebung der Raumluftrichtwerte für natürliche Emissionen sorgen.

Vor allem bei Schul- und Wohnbauprojekten werden die QNG-Qualitätsnachweise und KfW Fördermittel immer wichtiger und daher muss der innerbetriebliche Aufwand schon bei einer Angebotskalkulation als weiterer Kostenfaktor berücksichtigt werden. Bauunternehmen sind daher gut beraten, wenn sie die umweltbezogenen Produktinformationen schon bei der Baustoffbestellung vom Lieferanten anfordern und archivieren. Auf den zusätzlichen Kosten- und Planungsaufwand für eine Raumluf-Kontrollmessung bei der Bauabnahme sollten sich Planer und Bauunternehmen zukünftig einstellen.

Die rechtzeitige Beauftragung eines NACHHALTIGKEITSBERATERS durch die Bauherrschaft für die Auswahl des zutreffenden QNG/KfW-Förderverfahrens und die Archivierung der erhobenen Baustoffdaten verhindert Bau- und Zeitstress bei der Werkplanung oder bei der Bauabnahme. Die beim QNG vorgegebene Abgabe- und Aufbewahrungspflicht für umweltbezogene Produktinformationen obliegt dem Bauunternehmen und die Bauherrschaft reicht

<sup>14</sup> HOMERA Studienübersicht – Gesundheitliche Interaktion von Holz – Mensch – Raum, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, Lehrstuhl für Holzwissenschaft, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Prof. Dr. Klaus Richter, 2017 – <https://www.holz-und-raumluft.de/forschung>

<sup>15</sup>

<sup>16</sup> Verbundvorhaben (FSP-Emissionen): Gesundheitliche Bewertung von Emissionen aus Holz und Holzprodukten in Innenräumen mittels experimenteller toxikologischer Untersuchungen und humanbasierter Beobachtungen – <https://www.holz-und-raumluft.de/forschung>

die nötigen Formulare zusammen mit dem Architekten und/oder dem Nachhaltigkeitsberater bei den Zertifizierungsstellen zur Genehmigung und für die KfW-Bank ein. Das Bundesbauministerium empfiehlt möglichst frühzeitig einen Nachhaltigkeitsberater hinzuzuziehen. Dennoch ist das vorhandene Angebot an solchen Beratern vorerst die «Schwachstelle», denn das aktuelle Angebot an Nachhaltigkeitsberatern kann die Nachfrage noch nicht hinreichend bedienen. Das gleiche trifft auf die Zertifizierungsstellen zu, denn zusätzliche Kapazitäten im Bereich der Konformitätsprüfung müssen erst aufgebaut werden.

Ein Kalkulationsproblem ist aktuell noch die Unkenntnis über den nötigen Zeitaufwand für das QNG-Verfahren. Weiterhin fehlen Nachhaltigkeitsberater und Kapazitäten bei den Zertifizierungsstellen. Es herrscht selbst unter den Insidern noch große Unsicherheit über den Prüf- und Arbeitsumfang, die Vertrags- und Haftungsproblematik oder die Datenplausibilität bei der Risikostoffprüfung. Zudem wird sich dieser Mehraufwand sicherlich nicht kostensenkend auf die gesamten Baukosten auswirken. Eine weitere Unsicherheit besteht hinsichtlich der Erteilung des Zertifikats am Ende es Bauvorhabens, denn hier besteht ein Rechts- und Haftungsproblem, falls die Fördervoraussetzungen für den Kreditvertrag nicht erreicht wurden. Besteht hier auch für Planer, Nachhaltigkeitsberater, Handwerksfirmen oder Generalübernehmer ein Haftungsrisiko und wie kann man es reduzieren?

Diese Förderprogramme bieten eine Chance für Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holz, Stroh, Flachs, Hanf oder Schilf. Auch mineralische Lehmprodukte sind wegen ihrer guten Materialökologie im Kommen. Stoffverbote müssen berücksichtigt werden und Stoffgemische werden zukünftig durch die Risikostoffprüfung überwacht und bei einer Raumlufprüfung werden auch die Emissionen aus Naturbaustoffen bewertet. Gemäß unseren Erfahrungen können alle Raumluf(klima)-Zielwerte (z. B. beim BNB-Verfahren) nahezu sicher eingehalten werden, wenn eine emissionsreduzierte Produktauswahl, ein ausreichendes Lüftungskonzept und die Einhaltung einer strukturierten Messraumvorbereitung (s.a. <https://www.holz-und-raumluf.de/blog/vorlage-werkvertrag-pruefung-der-raumklima-und-raumlufqualitaet>) eingeplant werden.

## 6. Anlagen

### 6.1. Grundlagen zur VOC Ergebnisbewertung

1. Kommission Innenraumlufthygiene + Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, VOC Richtwerte für die Innenraumluf. Herausgeber: Umweltbundesamt, Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes.
2. Holzbau Deutschland/Informationsdienst Holz, Berlin: [www.holz-und-raumluf.de](http://www.holz-und-raumluf.de)

### 6.2. Rechtliche Grundlagen:

Unter anderen gelten folgende staatlichen umweltbezogene Regulierungen in der EU und in Deutschland für Stoffe, Gemische und Erzeugnisse:

1. Europäische Chemikalienverordnung REACH für Rohstoffe,
2. Europäische POP-Verordnung für Gefahrstoffe,
3. Deutsche Chemikalien-Verbotsverordnung,
4. Europäische Biozid-Richtlinie und Biozid-Verordnung,
5. Decopaint-Richtlinie für Farben, Lacke,
6. Baurecht / Bauproduktrecht für Materialverwendungen,
7. Musterbauordnung für Verwendungsgrundlagen,
8. DIBt Grundsätze und AgBB Emissionsprüfschema f. Bauprodukte
9. Bewertungssystem nachhaltiges Bauen (BNB) für Materialauswahl und Raumlufqualität,
10. Abfallrecht und Kreislaufwirtschaftsgesetz.

### 6.3. Normen – Raumluft(klima)messungen:

DIN 1946	DIN 1946-1-6 befasst sich mit dem Anwendungsbereich und jenen Neuerungen der Norm, die ventilatorgestützte Systeme betreffen. DIN 1946-6 «Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/ Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung».
DIN EN 16798 Teil 1	Lüftungs- und Behaglichkeitsnorm (Früher: DIN EN 15251, EN 13779)
EN 16516	Bauprodukteprüfung
EN ISO 7730	Thermische Behaglichkeit
VOB/C ATV DIN 18379-3	Grundlage für die Planung und Auslegung von Lüftungs- und Klimaanlagen in Nichtwohngebäuden, die für den Aufenthalt von Menschen bestimmt sind.
DIN EN ISO 16000-1 (2006)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie
DIN EN ISO 16000-2 (2006)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 2: Probenahmestrategie für Formaldehyd
DIN ISO 16000-3 (2013)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen – Probenahme mit einer Pumpe – Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie
DIN EN ISO 16000-5 (2007)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige Verbindungen (VOC)
DIN ISO 16000-6 (2012)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID
DIN ISO 16000-8 (2008)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 8: Bestimmung des lokalen Alters der Luft in Gebäuden zur Charakterisierung der Lüftungsbedingungen

**Block B1**  
**Konstruktiver Schallschutz**



# Ausführungsfehler im Schallschutz vermeiden

Veronika Silberbauer  
PIRMIN JUNG Deutschland GmbH  
Augsburg, Deutschland





# Ausführungsfehler im Schallschutz vermeiden

## 1. Einleitung

Die Ausführungsqualität im Holzbau spielt eine wesentliche Rolle, wenn es um das Erreichen vereinbarter Schutzziele im Schallschutz geht. Was auf dem Papier und im Rechner nach einer plausiblen Lösung für Tragwerk und Bauphysik aussieht, ist noch lange keine Garantie für eine gute Ausführung auf der Baustelle. Die hohe Varianz an Holzbausystemen am Markt und mangelnde (Fach-) Bauleitungen führen dazu, dass eine Überwachung zunehmend schwieriger wird. Im Vergleich zum Massivbau ist der Anteil an schalltechnisch heiklen Punkten (Details, Anschlüssen) deutlich höher, was das Risiko für Ausführungsfehler bei Holzbauten deutlich ansteigen lässt.

Welche Entscheidungen der Fachplaner haben einen Einfluss auf die Ausführungsqualität und resultierend daraus auf den Schallschutz? Welche Hinweise können frühzeitig in die Planung einfließen, um in der Ausführung mangelnden Schallschutz zu vermeiden?

Und wie erreichen die Hinweise zur Ausführungsqualität die ausführenden Unternehmen auf der Baustelle?

## 2. Ausführungsfehler vermeiden: welche Rolle spielt die Planung?

Grundstein für die Vermeidung von Ausführungsfehlern ist die Planung. Nach Festlegung der Bauteilaufbauten steht die Detailplanung im Vordergrund. Schallschutz definiert sich nicht über die Labor-Schalldämm-Maße eines Bauteils: Schallschutz wird durch die Komplexität der Konstruktion, detaillierte Kontrollen der Knotenanschlüsse und eine vorausschauende Planung mitbestimmt. Klassische «Ausführungsfehler» sind ebenso ein wesentlicher Bestandteil der Projektabwicklung für die Fachplaner im Schallschutz.

Daher ist es sinnvoll, vorausschauend die Projekte als Bauakustiker zu begleiten und bereits frühzeitig Hinweise in der Entwurfsplanung einfließen zu lassen, um spätere Reklamationen und kostenintensive Sanierungen zu vermeiden.

### 2.1. Ausführungsfehler vorbeugen

#### Elektrische und sanitäre Installationen

Insbesondere bei der Planung von Installationsschächten ist eine frühzeitige Überprüfung der Leitungsführung erforderlich. Schächte, die direkt an schutzbedürftige Räume angrenzen, erfordern gegebenenfalls mehr Platz um Fallrohre separat an freistehenden Metallständern zu befestigen.

Leitungsführungen in der Installationsebene oder in der Splittebene bei Massivholzdecken erfordern genügend Platz, um sowohl für Gefälle als auch für die Ummantelung der Leitungen genügend Splittüberdeckung aufzuweisen.

Daher ist es notwendig, den Entwurf auf mögliche Konflikte in der Verlegung und Befestigung sanitärer Leitungen zu überprüfen.

#### Bodengleiche Duschen

Bei einem Entwurf, der eine ungünstige Anordnung von Bädern über schutzbedürftigen Räumen fremder Nutzungseinheiten aufzeigt und einen barrierefreien Zugang zu Duschen erfordert, müssen ebenfalls frühzeitig bei der Planung des Fußbodenaufbaus berücksichtigt werden. Sowohl bei der Ausführung mit Duschwannen als auch bei barrierefreiem Zugang zu Duschen mit ausgeführtem Gefälleestrich ist eine Entkopplung zwischen Duschfläche und Boden des Bades unabdingbar. Im Bereich der Dusche muss durch spezielle Entkopplungspads oder Trittschallmatten ein direkter Kontakt zu leichten Decken (z.B. Massivholzdecken) vermieden werden.

### Statisches System im Hinterkopf behalten

Insbesondere die flankierende Übertragung über Geschosstrenndecken im Bereich von Wohnungstrennwänden ist in bei der Festlegung der Bauteile zu berücksichtigen. Zwar können abgehängte Decken eine Maßnahme sein, um die Flankenübertragung von Decken zu reduzieren. In der Regel ist jedoch ein Blick auf das gewählte Statische System sinnvoll, um einen Überblick über statisch mögliche und akustisch notwendige Trennungen im Bereich von Anschlüssen von Wohnungstrennwänden gegebenenfalls vorzusehen.

### Detailkontrollen und besondere Hinweise

Eine Kontrolle der relevanten Details von z.B. Wohnungstrennwänden in Geschossübergängen und Anschlüsse an flankierende Bauteile (Außenwände, Treppenraumwände etc.) vermeidet Fehler in der Ausführung.

Sind Maßnahmen zur Abdichtung von Fugen erforderlich um eine Schalldichtigkeit zu erreichen, müssen auch diese Hinweise in der Detailplanung mit aufgenommen werden.

## 3. Typische Ausführungsfehler

### 3.1. Trittschall

#### 1. Falsche Verlegung des Bodenbelags:

- Kleber nicht vollflächig unter dem Parkett/Fliesen:  
Auftreten von Resonanzen aufgrund der Hohlräume
- Kleber in den Fugen im Randbereich:  
Berührung zwischen Bodenbelägen und Wänden, Fenster- oder Türschwellen.  
Die Verschlechterung hängt stark von der Länge der Berührungspunkte ab (bis zu 15 dB möglich).

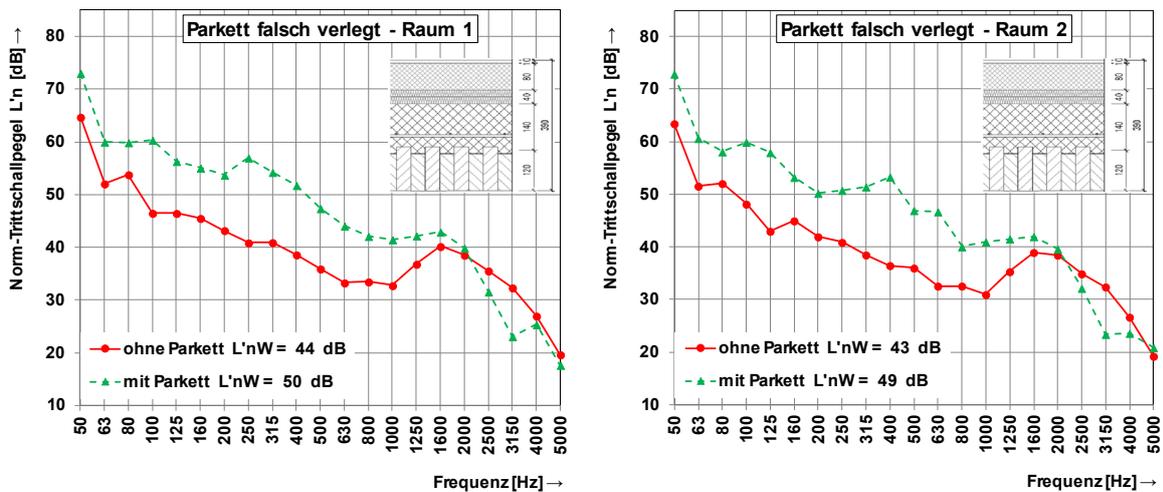


Abbildung 1: Einfluss der **falschen Verlegung** des Parketts in zwei Räumen des gleichen Gebäudes (HBV-Decke mit schwimmendem Zementestrich)

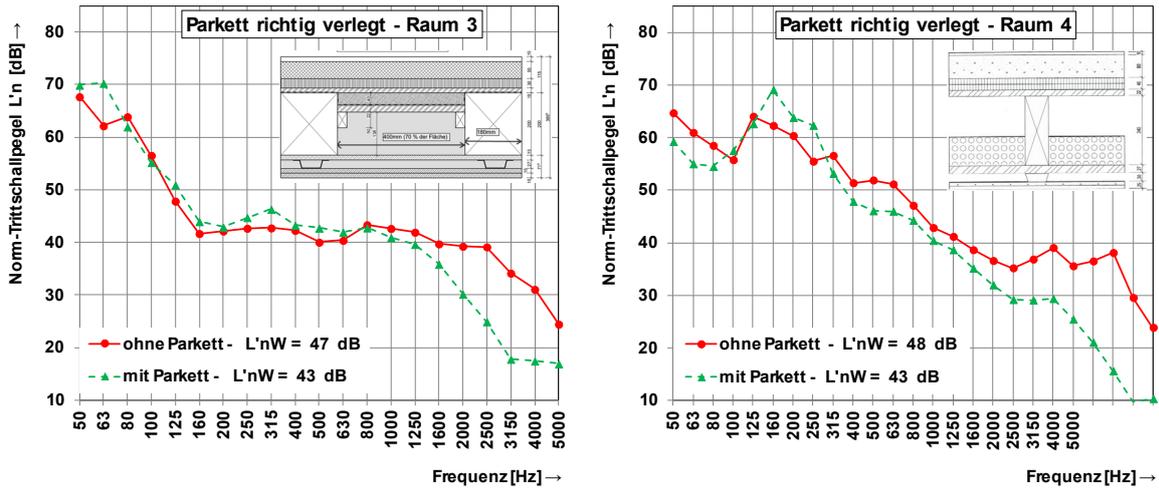


Abbildung 2: Einfluss der **richtigen Verlegung** des Parketts in zwei Räumen unterschiedlicher Gebäude (links: Rippendecke mit schwimmendem Calciumsulfatestrich und abgehängter Decke, rechts: Hohlkastendecke mit Zementestrich und abgehängter Decke)

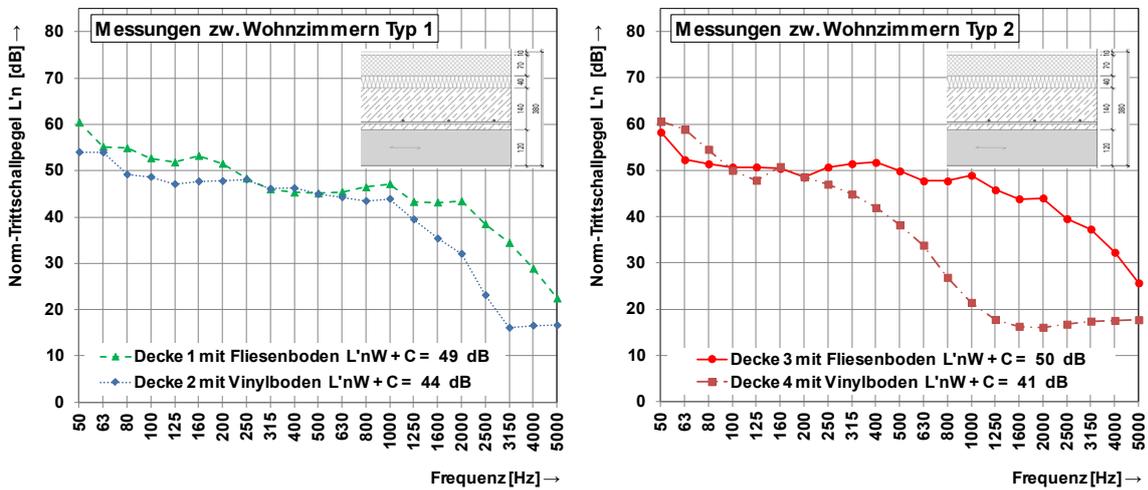


Abbildung 3: Einfluss der falschen Verlegung der Fliesenbeläge in zwei identischen Wohnzimmern des gleichen Gebäudes (HBV-Decke mit schwimmendem Zementestrich)

2. Starre Berührung zwischen Sockelleiste und Bodenbelag: Mit Sockelleisten aus Holz kann dieser Einbaufehler eine Trittschallverschlechterung bis zu 4 dB verursachen, wenn die ganze Fußleiste den Bodenbelag berührt.  
 » *Der Einfluss von falsch verbauten Sockelfliesen beträgt bis zu 8 dB.*
3. Nicht durchgehende Randstreifen, insbesondere in den Ecken (bei Türen, Fenstern, Deckendurchbrüche etc.): Somit Berührungen zwischen Estrich und Wänden oder Türschwellen etc. (Siehe Abbildung 4).  
 » *Einfluss auf den bewerteten Norm-Trittschallpegel: ca. 2 dB bis 15 dB (in Abhängigkeit der Länge der Berührungspunkte)*



Abbildung 4: Beispiele von nicht durchgehenden Randstreifen bei einer Ecke und einem Deckendurchbruch

4. Installationsrohre auf Holzdecken in der Splittschicht nicht komplett überdeckt: Somit Berührung mit der Trittschalldämmung (Schallbrücke). Der Fehler liegt hier bei einer falschen Planung der Leitungsführung. Zu beachten sind die Rohrkreuzungen, die Rohrgefälle sowie die Verkleidungsstärke der Rohre (die schalldämmte Ummantelung der Abwasserrohre wird häufig mit Geberit ISOL ausgeführt mit einer Stärke von 17 mm). Somit ist die Splittschicht entsprechend zu erhöhen, damit die darüber liegende Trittschalldämmung durchgehend ist.

» Einfluss auf den bewerteten Norm-Trittschallpegel: ca. 6 dB

5. Fehlende Abschlussleiste (siehe Abbildung 5) im Bereich von Türschwellen von Wohnungseingangstüren zur Schallentkopplung zwischen Treppenraum und Wohnung.

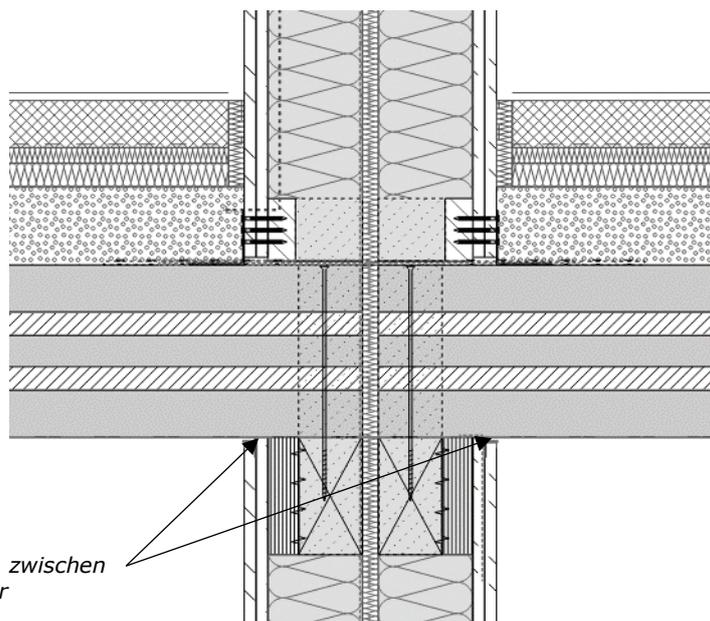
» Einfluss auf den bew. Norm-Trittschallpegel ca. 13 dB.



Abbildung 5: Übergang Treppenraum zu Nutzungseinheit, die Fugen wurden nach Feststellung einer starken Trittschallübertragung wieder geöffnet. Da: optimale Körperschallübertragung durch direkten Kontakt der Abschlussleiste mit dem Fliesenbelag im Treppenraum und Fußbodenbelag innerhalb der Nutzungseinheit. Hier sollte eine dauerelastischen Fuge (Silikon) vorgesehen werden.

### 3.2. Luftschall

1. Im Bereich von Wohnungstrennwänden werden häufig Schattenfugen ausgeführt. Im folgenden Beispiel ist der Zusammenhang zwischen dem gewählten statischen System und den daraus resultierenden Anschlussdetails für den Schallschutz zu erkennen. In Abbildung 6 ist ein stumpfer Anschluss einer Wohnungstrennwand an eine Massivholzdecke (Brettsperrholz) ausgeführt worden. Die fehlende Luftdichtigkeit führte auch zu einer verminderten Luftschalldämmung. Mit Hilfe von Nacharbeiten wurden die Kantenschutzprofile im Stoßbereich entfernt und die Undichtigkeit zwischen Brettsperrholzplatte und Kertoauflager mit Silikon ausgebessert. Die Luftschalldämmung verbesserte sich um 11-13 dB!



Silikon zur Abdichtung zwischen BSP und Kerto Auflager

Abbildung 6: Stumpfer Anschluss der Wohnungstrennwand in Holzrahmenbauweise an Massivholzdecke im Geschossübergang.

2. Fehlende Schottung im Bereich des Anschlusses einer Innenwand an ein Sparrendach mit Anforderung an des bewertete Luftschalldämm-Maß  $R'_w = 47$  dB. Nach Öffnung der abgehängten Akustikdecke zeigte sich der Einblick in den Deckenhohlraum. Die Sparren des Daches laufen quer zur Trennwand und diese schließt direkt an die Unterkante der Sparren an. Die fehlende Schottung zwischen den Sparren über der Innenwand führte zu einem Messergebnis von  $R'_w = 30$  dB (mit geschlossener Akustikdecke in Sende- und Empfangsraum).



Abbildung 7: Einblick hinter die Akustikdecke in den Anschlussbereich der Innenwand an das Sparrendach. Durch Füllhölzer oder Mineralwollschotts im Bereich zwischen den Sparren kann die Flankenübertragung reduziert werden.

### 3.3. Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

Abwasserfallleitung an der einschaligen Holz- oder Metallständerwand (oder Vollholzwand) befestigt: Wenn auf der anderen Seite ein Schlaf- oder Wohnzimmer ist, werden die Anforderungen hier nicht erfüllt, wegen der Körperschallübertragungen durch die Wand (siehe Abbildung 8, links). Unabhängig davon, ob die Rohrschellen schallentkoppelt montiert werden. Falls die Räume sich im Erdgeschoss befinden, wird der Schallpegel im angrenzenden Zimmer noch höher wegen des Prallgeräusches im Rohr. Die Abwasserfallleitung ist deswegen an freistehenden Metallständern (nur am Boden und an der Decke schallentkoppelt befestigt) mit schallentkoppelten Rohrschellen zu montieren. Die Steigzone an der Rückwand darf ebenfalls nicht befestigt werden, sondern muss freistehend montiert werden. Die gleichen Maßnahmen sollten auch für Heizungs- und Lüftungsrohre getroffen werden, obwohl die Körperschallübertragungen solcher Rohre normalerweise geringer als bei Sanitärrohren ist. Bei der Befestigung von Fallrohren an Außenwände in Holzrahmenbauweise ist ebenfalls eine Körperschallübertragung durch die Beplankung der Außenwand zu berücksichtigen. Insbesondere dann, wenn in Fallrohren Prallgeräusche im Erdgeschoss auftreten können (siehe Abbildung 8, rechts).

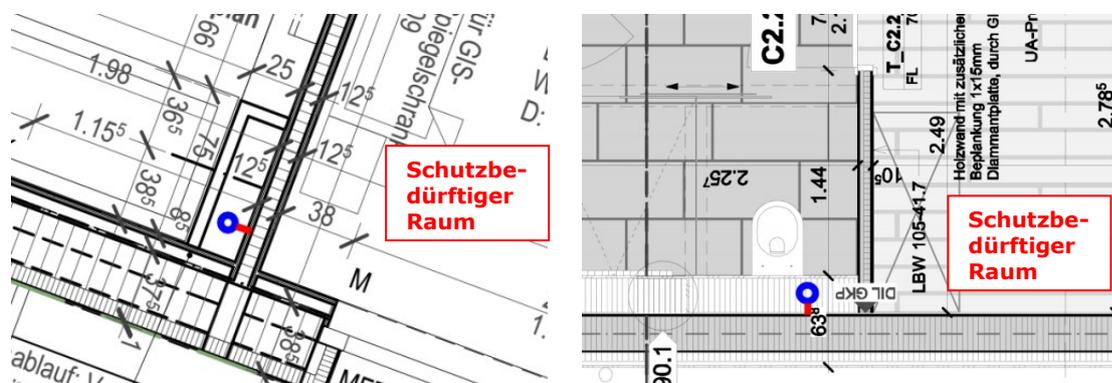


Abbildung 8: Beispiele von falsche Befestigungen der Abwasserfallleitung an der Zimmerwand (links, Körperschallübertragung durch die Zimmerwand) oder an der Außenwand (rechts, Körperschallübertragung durch die Außenwand)

### 3.4. Abgehängte Decken

Abgehängte Unterdecken verbessern nicht in jedem Fall den Schallschutz. Unterdecken bzw. Abhangdecken sind daher exakt durch den Akustiker auszulegen und begleitend zu planen. Das betrifft nicht nur die materielle Ausführung (Gewicht und Anzahl der Platten, Art der Abhängung) sondern auch die Höhen und Abstände der Unterdecke zur Rohdecke. In Abbildung 9 führte die Ausführung einer direkt befestigten Unterdecke zu einer Resonanzfrequenz von 80 Hz. Störende Trittschallgeräusche wurden durch die Bewohner deutlich wahrgenommen. Die Ausführung mit einer schallentkoppelten Unterdecke spezieller Abhänger führte zu einer Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels zwischen 6 und 11 dB, sowie die Verschiebung der Resonanzfrequenz in den Frequenzbereich unter 50 Hz!

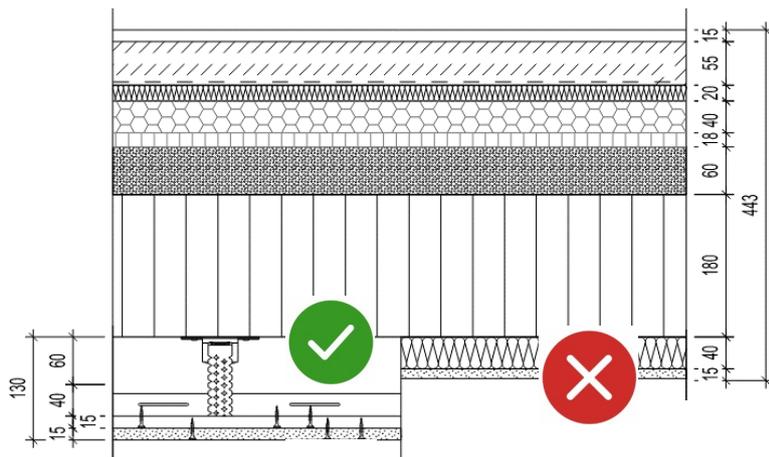


Abbildung 9: Schallentkoppelte Abhangdecke an einer Massivholzdecke vs. direkt befestigte Unterdecke an einer Massivholzdecke mit 40 mm Hohlraum (gedämmt): Vorsicht bei der Auslegung von Unterdecken in Bezug auf die Resonanzfrequenz des Masse-Feder-Systems und damit auftretende Einbrüche in der Trittschalldämmeigenschaft der Decke.

Das Beispiel in Abbildung 10 zeigt eine Verschlechterung um 5 dB selbst bei schweren Holz-Beton-Verbunddecken, wenn die Unterdecke nicht durch den Akustiker ausgelegt wurde: ohne Unterdecke ist der bew. Norm-Trittschallpegel 4 dB geringer!

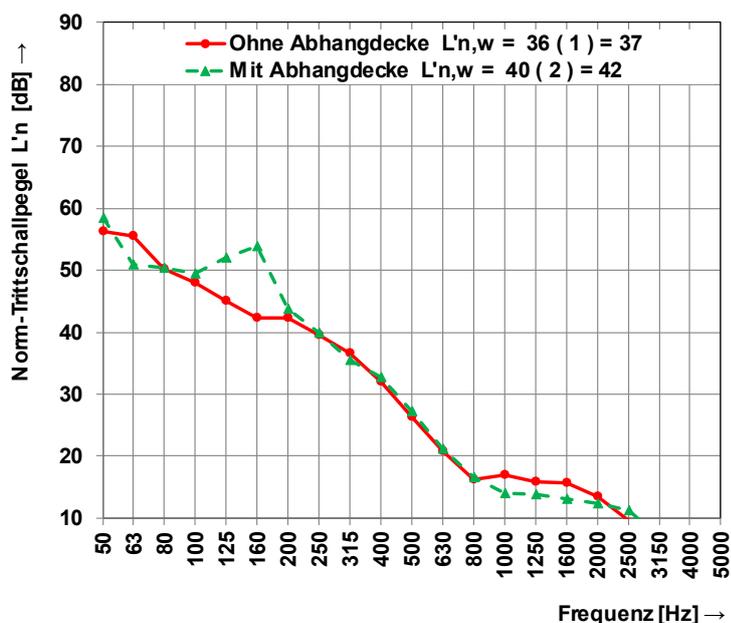


Abbildung 10: starr verbundene Unterdecke mit 60 mm Lattung und 12,5 mm GKB bei einer HBV-Decke

### 3.5. Befestigung von Fußbodenheizungen

Die Tackernadeln für die Befestigung von Fußbodenheizungsrohren dürfen auf keinen Fall die gesamte Trittschalldämmung durchdringen (siehe Abbildung 11), da sonst Schallbrücken entstehen und damit die schalldämmende Wirkung stark verschlechtert wird. Bei der Planung muss die korrekte Länge der Clips berücksichtigt werden.

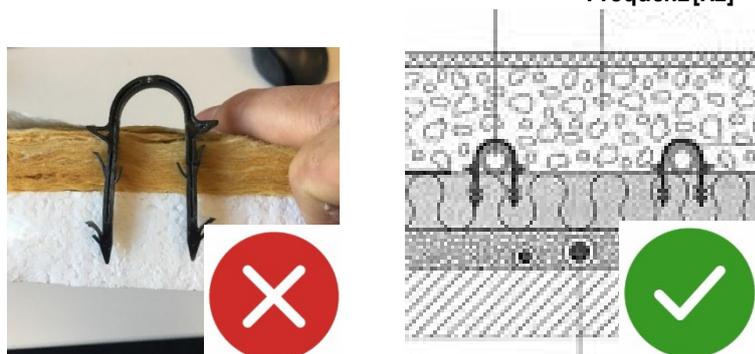
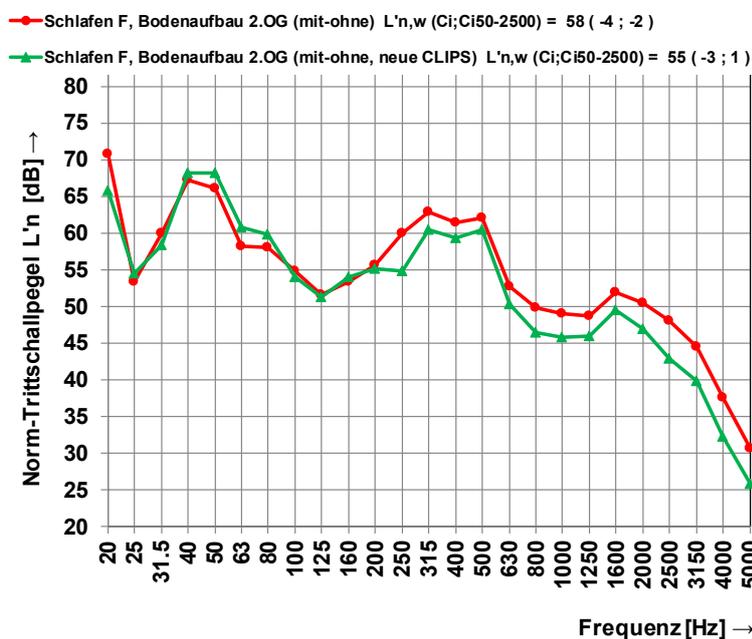


Abbildung 11: Zu lange Tackernadeln der Fußbodenheizung führen zu Körperschallbrücken

Noppenplatten zur Befestigung der Heizungsrohre sind generell nicht zu empfehlen, da störende Resonanzen auftreten können.

## 4. Zusammenfassung

Guter Schallschutz beginnt mit einer vorausschauenden Planung und endet mit einer fachgerechten Ausführung. Hierfür ist ein ständiger Austausch zwischen Planern und Ausführenden zu gewährleisten. Mangelnde Erfahrung der (Fach-) Bauleitung können mit einfachen Abbildungen im Schallschutznachweis entscheidende Hinweise für die Ausführung sein. Daneben sind folgende Vorschläge zur Vermeidung von Ausführungsfehlern im Holzbau allgemein zu berücksichtigen:

1. In den LPH1 – 3 sind die heiklen Punkte bereits zu definieren und klar mit den Fachplaner:innen und Architekt:innen zu kommunizieren (zum Beispiel genügend Platz für die Leitungsführung in oder auf der Decke oder in den Schächten einplanen).
2. Bei der Festlegung der Bauteilaufbauten sind Randbedingungen zu definieren, die eine Ausführung im Hinblick auf den Schallschutz nicht erschweren. Ein fachlicher Austausch zu den Detailplanungen an den Knotenpunkten mit den Fachplaner:innen Tragwerksplanung und im späteren Projektverlauf gegebenenfalls mit der Werkstattplanung ist unabdingbar.

3. In der LPH3 und 4 sind die schalltechnischen Maßnahmen in einem Bericht klar darzustellen und an die unterschiedlichen Fachplaner:innen (Holzbauunternehmen, Tragwerksplaner:innen, Sanitär-, Heizungs- und Lüftungsplaner:innen, Elektroplaner:innen) durch die Bauleitung (Architekt:innen) zu übergeben.
4. (Fach-) Bauleitung: Konkrete Kontrollen der für den Schallschutz relevanter Punkte aus dem Schallschutznachweis durch einfache Abbildungen erleichtern die notwendigen Kontrollen möglicher Ausführungsfehler.
5. Die Verantwortlichkeit für Baustellenkontrollen sind zu klären und in den richtigen Ausführungsphasen zu organisieren und auch gewissenhaft durchzuführen:
  - Vor dem Einbringen des Überbetons (bei HBV-Decken) oder vor der Schließung der Hohlkastendecken oder vor der Verlegung des Splitts auf einer Massivholzdecke, um die Leitungsführung zu kontrollieren.
  - Vor dem Einbringen des Estrichs, um die Verlegung der Randstreifen zu kontrollieren.
  - Nach dem Einbringen des Estrichs, um eventuell Schallbrücken (starre Verbindungen zwischen Zementestrich und angrenzenden Bauelementen) zu entdecken.
  - Vor dem Schließen der Schächte und Steigzonen, um die Leitungsführung zu kontrollieren.
6. Schallmessungen in der Baustellenphase wären optimal, um eventuelle Schallbrücken zu entdecken und kurzfristig zu lösen.
7. Eine umfangreiche Baudokumentation (Bautagebuch) mit Fotos und Lieferscheinen durch die Bauleitung hilft im Nachhinein bei auftretenden Problemen, diese einzugrenzen.

Mit diesen Maßnahmen kann man das gesamte Projekt betreffend den Schallschutz besser kontrollieren und unangenehme Überraschungen vermeiden. Dies setzt aber entweder eine Beauftragung der entsprechenden Fachplaner:innen oder Akustiker:innen oder eine Schulung der Bauleitung und Poliere voraus.

# Schalltechnische Planung von Außenbauteilen – Außenwände, Dach- und Terrassenkonstruktionen

Andreas Rabold  
Technische Hochschule Rosenheim  
und ift Rosenheim  
Rosenheim, Deutschland



Camille Châteaueux-Hellwig  
Technische Hochschule Rosenheim  
Rosenheim, Deutschland



Stefan Bacher  
ift Rosenheim  
Rosenheim, Deutschland





# Schalltechnische Planung von Außenbauteilen – Außenwände, Dach- und Terrassenkonstruktionen

## 1. Einleitung

Die schalltechnische Planung von Außenbauteilen erfordert zunächst die Beurteilung der Lärmsituation am Gebäudestandort. Aus dem vorhandenen Außenlärmpegel kann dann die erforderliche Schalldämmung des Außenbauteils abgeleitet und geeignete Bauteile ausgewählt werden. Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Anforderungen ist im deutschsprachigen Raum sehr ähnlich, wenngleich die Verfahren auf den ersten Blick mit unterschiedlichen Kenngrößen arbeiten.

Im Fokus der Beurteilung steht dabei der im Innenraum wahrnehmbare Schalldruckpegel. Um diesen unterhalb der angestrebten Grenzwerte zu halten, nimmt die Anforderung an die Schalldämmung der Außenbauteile mit steigender Außenlärmexposition ebenfalls zu. Dabei wird jedoch nicht eine Unhörbarkeit des Außenlärms im Innenraum angestrebt, sondern ein noch vertretbarer Innenpegel, der vegetative Reaktionen und Schlafstörungen des Bewohners vermeiden soll.

Die Nachweise über die Einhaltung der Anforderungen werden über das resultierende bewertete Schalldämm-Maß der von innen sichtbaren Außenbauteilflächen inkl. aller Einbauten und ggf. relevanter Flankenübertragung durchgeführt, wobei in der Schweiz und z.T. auch in Österreich, der Spektrum-Anpassungswert  $C_{tr}$  zu berücksichtigen ist. In Deutschland ist dies noch in der Diskussion.

Nachfolgend soll zunächst auf den Einfluss dieser Kenngrößen eingegangen und danach die Bauteile Dach und Außenwand in Bezug auf ihre schalltechnische Leistungsfähigkeit betrachtet werden. Im Ausblick wird auf die zu erwartenden Regengeräusche im ausgebauten Dachgeschoß eingegangen, die keine Anforderungsgröße darstellen, aber dennoch einen nicht unerheblichen Einfluss auf das Wahrnehmen der Wohnqualität haben.

## 2. Einfluss der Kenngrößen

Der für den Vergleich der Kenngrößen benötigte Innenpegel  $L_i$  kann nach Gleichung (1) aus dem vorhandenen Außenlärmpegel  $L_a$  und dem Schalldämm-Maß  $R$  des Außenbauteils bestimmt werden. Zusätzlich erfolgt die Berücksichtigung der von innen sichtbaren Außenbauteilfläche als schallübertragende Fläche  $S_s$  und die Berücksichtigung der Schallabsorption im Innenraum durch die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$ .

$$L_i = L_a - R + 10 \lg \left( \frac{S_s}{A} \right) \quad \text{bzw.} \quad L_i = L_a - R + 10 \lg \left( \frac{S_s}{0,8 S_G} \right) \quad (1)$$

Für die Berechnungsbeispiele wird  $A = 0,16 V/T$  eingesetzt. Mit einem Volumen  $V$  das sich aus der üblichen Raumhöhe  $H = 2,50$  m und der Grundfläche  $S_G$  zu  $V = 2,5 S_G$  ergibt sowie einer bauüblichen Nachhallzeit  $T_0 = 0,5$  s folgt die rechte Darstellung in Gleichung (1). Die Flächen werden in den Beispielen mit  $S_s = 10$  m<sup>2</sup> und  $S_G = 20$  m<sup>2</sup> gewählt.

Die Berechnung nach Gleichung (1) wird exemplarisch mit innerstädtischem Straßenlärm für die nachfolgend beschriebenen Außenbauteile auf unterschiedliche Weise durchgeführt:

- Berechnung mit dem bewerteten Schalldämm-Maß  $R_w$  bzw.  $R_{w,res}$  bei Berücksichtigung der Fenster in einem resultierendem Schalldämm-Maß.
- Berechnung mit dem bewerteten Schalldämm-Maß + Spektrum-Anpassungswert  $R_w + C_{tr}$  bzw.  $(R_w + C_{tr})_{res}$
- Berechnung mit Spektrum-Anpassungswerten im erweiterten Frequenzbereich  $R_w + C_{tr,50-5000}$  bzw.  $(R_w + C_{tr,50-5000})_{res}$
- Frequenzabhängige Berechnung mit  $R$  und  $L_a$  für jedes Terzband (50 - 5000 Hz) mit anschließender A-Bewertung des Innenpegels.

Für die Ermittlung der zu erwartenden Innenpegel auf Basis der aktualisierten Außenlärm-spektren, wird zunächst eine Zusammenstellung typischer Außenbauteile benötigt. Hierzu wurden je 5 Massivwände, 5 Holztafelbau- und Massivholzwände sowie 5 Flach- und Steildächer aus den Bauteilkatalogen ausgewählt. Die bewerteten Schalldämm-Maße der Bauteile liegen zwischen  $R_w = 37$  dB und 70 dB.

## 2.1. Korrelation zwischen Schalldämm-Maß und Innenpegel

Zum Vergleich der unterschiedlichen Kenngrößen wurde zunächst der Zusammenhang zwischen dem bewerteten Schalldämm-Maß des Außenbauteils ohne Einbauten / Fenster und dem A-bewerteten Innenpegel ausgewertet (siehe Abbildung 1). Wird, wie im aktuellen Nachweisverfahren vorgegeben, lediglich das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  für die Berechnung nach (1) verwendet, so liegt mit einem Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,59$  eine nur schwache Korrelation zwischen dem bewerteten Schalldämm-Maß und dem vom Bewohner wahrgenommenen Innenpegel vor. Mit Hinzunahme des Spektrum-Anpassungswerts  $R_w + C_{tr}$  verbessert sich diese Korrelation deutlich (Abbildung 1, Mitte). Durch die Berücksichtigung des Spektrum-Anpassungswerts im erweiterten Frequenzbereich  $R_w + C_{tr,50-5000}$  ist eine weitere deutliche Verbesserung des Zusammenhangs möglich (Abbildung 1, rechts). Die Wahl des Außenlärmpegels  $L_a$  und der Flächenverhältnisse ( $S_s/S_G$ ) haben keinen Einfluss auf die Korrelation der Berechnungsergebnisse in Abbildung 1.

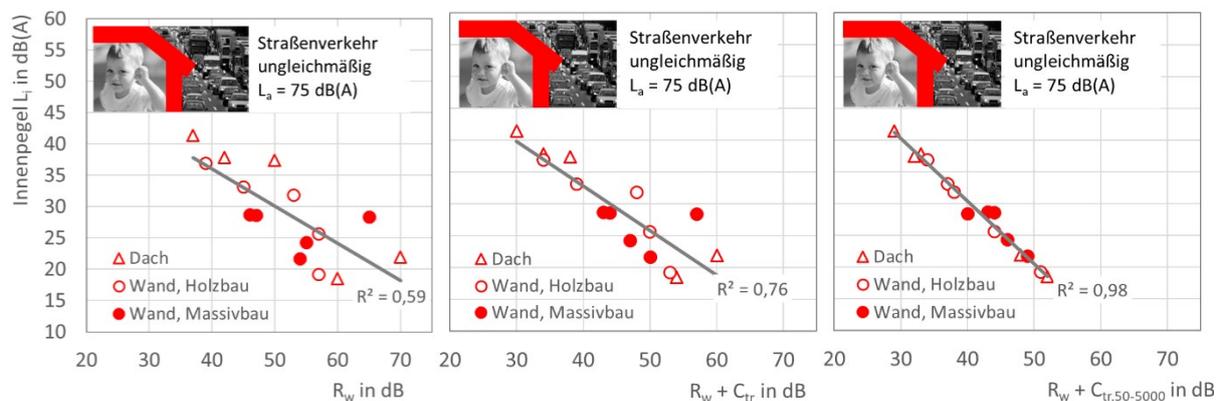


Abbildung 1: Vergleich der unterschiedlichen Einzahlwerte als Kenngrößen für die Schalldämmung des Außenbauteils mit dem gehörrichtig bewerteten Innenpegel.

Links: Berechnung mit  $R_w$ , Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,59$

Mitte: Berechnung mit  $R_w + C_{tr}$ , Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,76$

Rechts: Berechnung mit  $R_w + C_{tr,50-5000}$ , Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,98$

## 2.2. Berücksichtigung der eingebauten Fenster

Werden im Außenbauteil Fenster- oder Fassadenelemente eingebaut, erfolgt die Berechnung mit dem resultierenden Schalldämm-Maß. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse für ein Fenster mit  $R_w (C; C_{tr}) = 45 (-2; -5)$  dB,  $C_{50-5000} = -1$  dB,  $C_{tr,50-5000} = -5$  dB und einem Flächenanteil von 30 %. Die Abstufung entspricht der Betrachtung ohne Fenster. Die Korrelation allein für den  $R_w$  wird allerdings besser, da das Fenster als maßgebliches Bauteil üblicherweise keine Einbrüche in der Schalldämmung unter 100 Hz aufweist. Dieser Effekt zeigt sich umso deutlicher umso größer der Flächenanteil der Fenster ist.

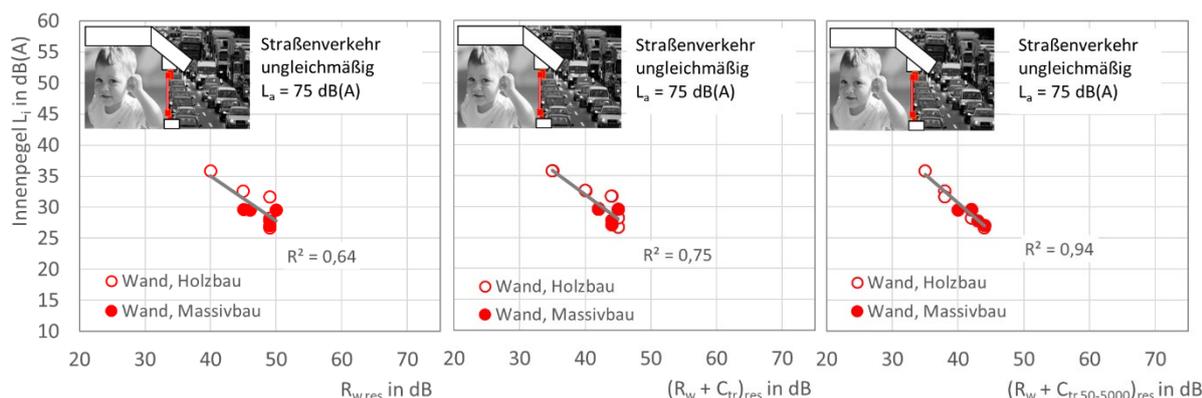


Abbildung 2: Vergleich der unterschiedlichen Einzahlwerte als Kenngrößen für die Schalldämmung der Außenbauteile (Wände) inkl. 30 % Fensterfläche mit dem gehörrichtig bewerteten Innenpegel.

Links: Berechnung mit  $R_{w,res}$ , Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,64$

Mitte: Berechnung mit  $(R_w + C_{tr})_{res}$ , Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,75$

Rechts: Berechnung mit  $(R_w + C_{tr,50-5000})_{res}$ , Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,94$

### 2.3. Vergleich zur frequenzabhängigen Berechnung

Eine quantitative Beurteilung der Abweichung zwischen der Berechnung und dem tatsächlich vorhandenen Innenpegel lässt sich durch den Vergleich der bisher dargestellten Einzahlwert-Berechnung mit der frequenzabhängigen Berechnung des Innenpegels erreichen. Abbildung 3 zeigt diese Abweichung zur frequenzabhängigen Berechnung für das o.g. Beispiel mit 30% Fensterflächenanteil.

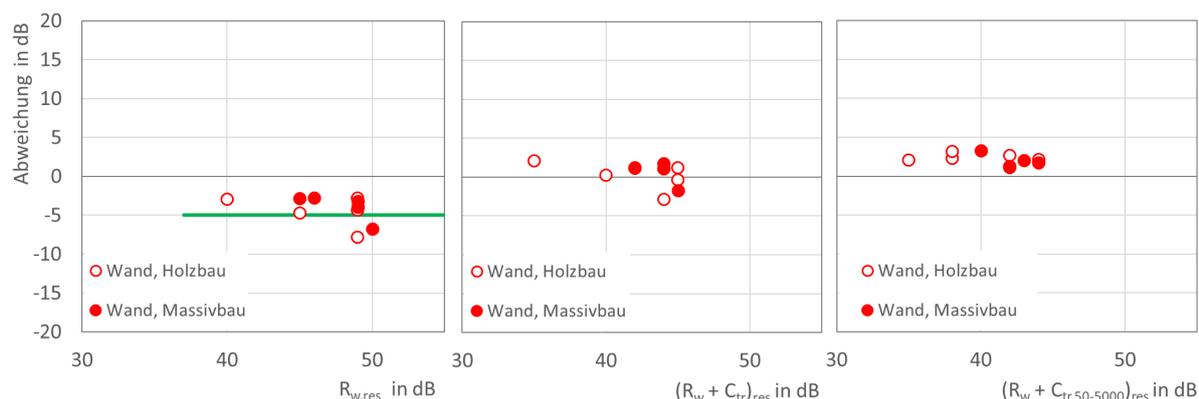


Abbildung 3: Abweichungen zwischen dem A-bewerteten Innenpegel aus der Berechnung mit Einzahlwerten gegenüber der frequenzabhängigen Berechnung für Außenbauteile (Wände) mit Fenster (30 % Fensterfläche).

Links: Berechnung mit  $R_{w,res}$ , mittlere Abweichung  $\bar{x} = -4,2$  dB, Standardabweichung  $\sigma = 1,8$  dB

Mitte: Berechnung mit  $(R_w + C_{tr})_{res}$ , mittlere Abweichung  $\bar{x} = 0,4$  dB, Standardabweichung  $\sigma = 1,6$  dB

Rechts: Berechnung mit  $(R_w + C_{tr,50-5000})_{res}$ , mittlere Abweichung  $\bar{x} = 2,2$  dB, Standardabw.  $\sigma = 0,7$  dB

Die frequenzabhängig berechneten Innenpegel sind in Abbildung 3, links im Mittel um 4,2 dB höher als die Berechnungsergebnisse mit  $R_w$  als Einzahlwert. Bei dem aktuellen Nachweisverfahren nach DIN 4109, das mit dem  $R_w$  als Eingangsgröße arbeitet, wurde zur Kompensation eine zusätzliche Sicherheit von 5 dB angesetzt, die bei den Anforderungswerten pauschal berücksichtigt wurde [1]. Wird hingegen der Spektrum-Anpassungswert in der Berechnung berücksichtigt (Abbildung 3, Mitte), entfällt diese «5 dB-Verschiebung» der Ergebnisse. Bei der Berechnung mit den Spektrum-Anpassungswerten im erweiterten Frequenzbereich (Abbildung 3, rechts), liegen die Ergebnisse im Mittel um 2 dB auf der sicheren Seite. Die Berechnungen wurden für den Fall des innerstädtischen Straßenverkehrs durchgeführt, Analysen mit anderen Lärmsituationen führten zu den gleichen Schlussfolgerungen.

Eine Berücksichtigung der Spektrum- Anpassungswerte im Anforderungswert ist also durchaus sinnvoll. Die beste Korrelation wird im erweiterten Frequenzbereich erreicht. Bei Bauteilen, deren Schalldämmung durch das Fenster dominiert wird, ist auch die Auswertung ab 100 Hz ausreichend.

## 3. Außenbauteile

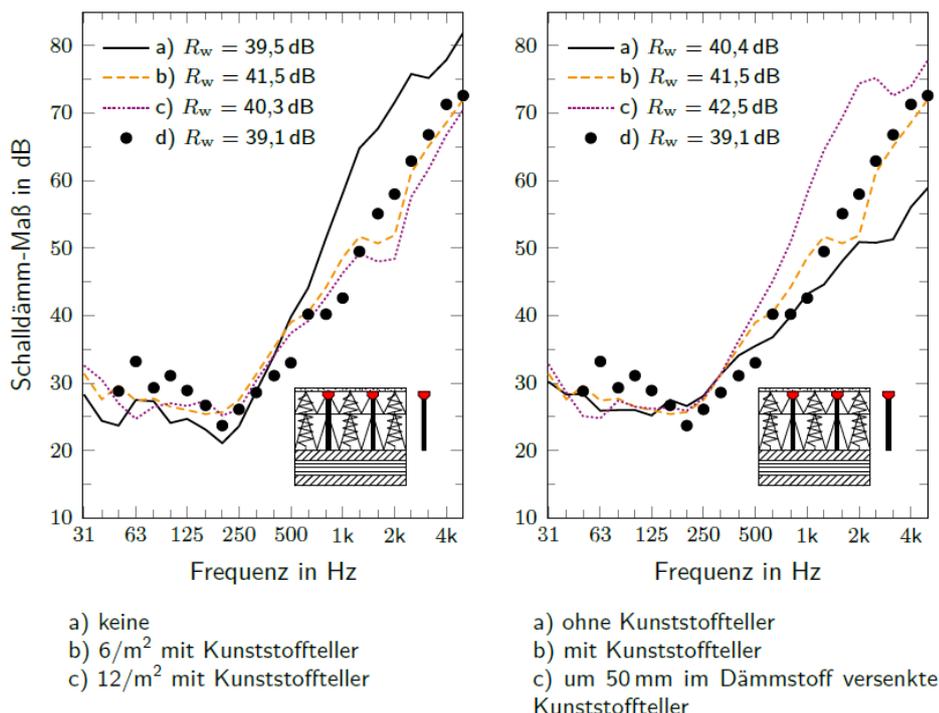
### 3.1. Außenwände

Die meisten Wandkonstruktionen im Holzbau lassen sich unabhängig von ihrem konkreten Einsatz auf wenige Grundelemente zurückführen. Nachfolgend wird hierbei zwischen der Holztafelbauweise und der Massivholzbauweise unterschieden. Die Schalldämmung von Holztafelbauwänden wird über den Ständerabstand der Grundwand, die Ständertiefe (Dicke des Hohlraumes) und die Beplankungsausführung beeinflusst. Auf die Grundkonstruktion wird i.d.R. eine Außenwärmedämmung aufgebracht und – falls erforderlich – noch eine innenseitige Vorsatzschale als Installationsebene.

Beispiele für die Schalldämmung von Holztafel-Außenwänden und die Verbesserung durch Außendämmungen und Installationsebenen sind in Abbildung 4 dargestellt. Die aus der Konstruktion resultierenden Resonanzen lassen sich im Verlauf der Schalldämmung als Einbrüche erkennen. Für die Grundwand tritt in Abbildung 4 a) bei ca. 50 Hz die Masse-Feder-Masse-Resonanz  $f_0$  und bei ca. 2 kHz die Koinzidenzfrequenz auf. Der Einbruch bei  $f_0$  ist besonders ausgeprägt, wenn er mit der Lage einer passenden Platteneigenfrequenz der Wandbeplankung (hier bei ca. 40 Hz und 100 Hz) übereinstimmt. Der Austausch der äußeren Beplankung durch eine verputzte Holzfaserdämmplatte bringt eine deutliche Verbesserung ab 500 Hz, die zusätzliche Installationsebene ab 100 Hz (Abbildung 4 b) und c)). Die frequenzabhängige Darstellung der Schalldämmung zeigt, dass die tieffrequente Verbesserung durch diese Maßnahmen jedoch recht gering ist. In Fällen mit tieffrequenten Anregungsspektren (z. B. Straßenverkehr mit hohem LKW-Anteil) kann die Verwendung von Konstruktionen mit einer verbesserten Schalldämmung bei tiefen Frequenzen sinnvoll sein.

Massivholzwände können als einschalige Bauteile anhand ihrer flächenbezogenen Masse berechnet werden [4]. Ihre Schalldämmung liegt typischerweise zwischen  $R_w = 30$  dB und 40 dB. Zusätzlich aufgebrachte Außendämmungen oder raumseitige Installationsebenen können bei entsprechender Abstimmung der Resonanzfrequenz deutliche Verbesserungen ergeben.

Optimierungsbedarf besteht häufig beim Einsatz von Massivholzwänden mit WDVS ohne raumseitige Zusatzmaßnahmen. Diese Außenwandkonstruktion ist von besonderem Interesse, da sie im mehrgeschossigen Wohnungsbau gerne verwendet wird. Der gemessene Ausgangswert der Schalldämmung mit  $R_w = 39$  dB ist jedoch für viele Einsatzzwecke noch nicht ausreichend (siehe Abbildung 5).



Der einfache Schichtaufbau der Wandkonstruktion steht einer geringen Entkopplung durch das WDVS gegenüber. Weiche WDVS mit einer günstigen Masse-Feder-Masse-Resonanz sind in der Regel nicht praxistauglich. Zudem bewirkt die erforderliche Befestigung mit Dübeln (Holzschraube mit Teller) eine Kopplung zwischen der Putzschicht und der Grundwand. Eine Analyse der Konstruktion in Bezug auf mögliche Verbesserungsmaßnahmen erscheint deshalb sinnvoller. Auf den Messwerten aufbauend, wurden hierzu in [5] Berechnungen der Schalldämmung auf Basis der Finiten Elemente Methode durchgeführt.

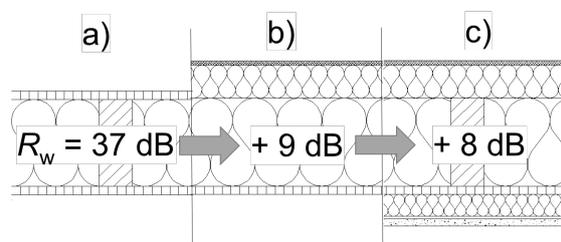
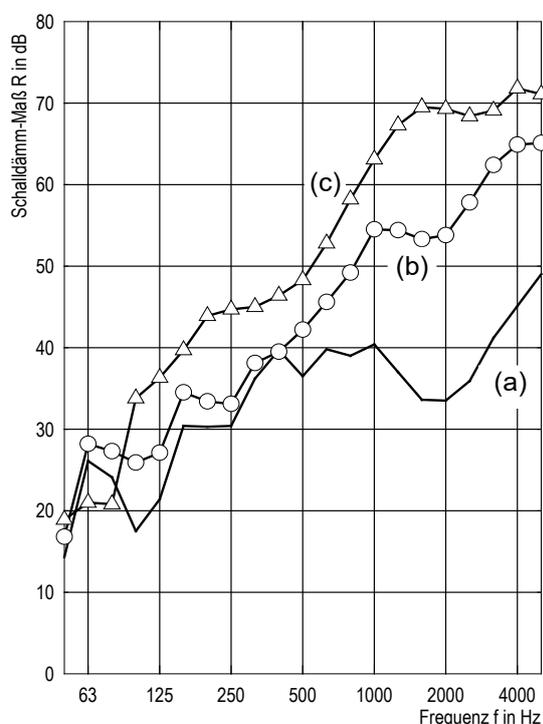


Abbildung 4: Konstruktive Maßnahmen bei einer Holztafel-Außenwand

- a) Holztafelwand mit beidseitig OSB-Beplankung,  $R_w = 37\text{dB}$ ,  $C_{tr,50-5000} = -9\text{dB}$
- b) Holztafel-Außenwand mit 60 mm Holzfaser-WDVS,  $R_w = 46\text{dB}$ ,  $C_{tr,50-5000} = -9\text{dB}$
- c) Holztafel-Außenwand mit 60 mm Holzfaser-WDVS und Vorsatzschale,  $R_w = 53\text{dB}$ ,  $C_{tr,50-5000} = -13\text{dB}$  aus [3]

Nach der Validierung der Simulation gegenüber den Messwerten, die im angestrebten Bereich lag (Messwert  $\pm 3$  dB), wurde zunächst der Einfluss der Dübel auf die Schalldämmung untersucht. Auffällig ist die Verbesserung der Schalldämmung durch die Dübel im Bereich unter 250 Hz durch eine Bedämpfung der Eigenmoden, wie dies auch messtechnisch in [6] ermittelt wurde. Oberhalb von ca. 500 Hz wird die Schalldämmung durch den koppelnden Einfluss der Dübel verschlechtert. Dies kann vermieden werden, wenn die Dübelteller um 50 mm im Dämmstoff versenkt werden. Die aus Wärme- / Feuchteschutzgründen montierte zusätzliche Dämmstoffschicht zwischen Dübelteller und Putzebene bewirkt dann eine gute Entkopplung.

Im zweiten Schritt wurde die Art und die Dicke der Putzschicht variiert, um das Verbesserungspotential, der für den Brandschutz erforderlichen Zusatz-Putzmasse, für die Schalldämmung des Wandaufbaus zu simulieren. Abbildung 6, links zeigt den Einfluss der Putz-Rohdichte auf die Schalldämmung. Rechts wird die Schalldämmung bei einer 30 mm starken Putzschicht gezeigt.

Die Erhöhung der Putzschicht-Dicke lässt eine starke Verbesserung der Schalldämmung erwarten. Die aus brandschutztechnischen Gründen erforderliche Maßnahme ermöglicht damit gleichzeitig Zielwerte  $R_w > 45$  dB zu erreichen. Messtechnische Untersuchungen zur Ermittlung von Planungsdaten für diese Optimierungsansätze stehen noch aus.

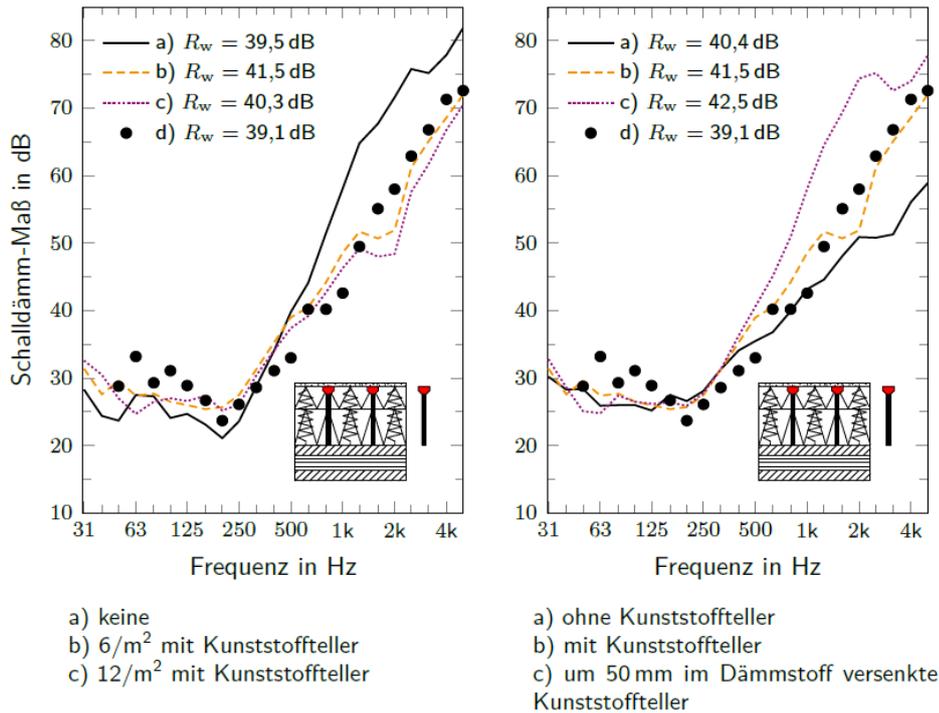


Abbildung 5: Schalldämmung einer 100 mm Massivholzwand mit WDVS (7 mm Putz, 160 mm Holzfaserdämmplatten). FEM-Berechnungsergebnisse (Kurven a bis c) für die Variation der Dübelanzahl (links) und der Putzankopplung an den Dübel (rechts). Zum Vergleich das Messergebnis der Bauteilprüfung (Kurve d) mit 6 Kunststoffteller-Dübeln. Berechnung aus [5].

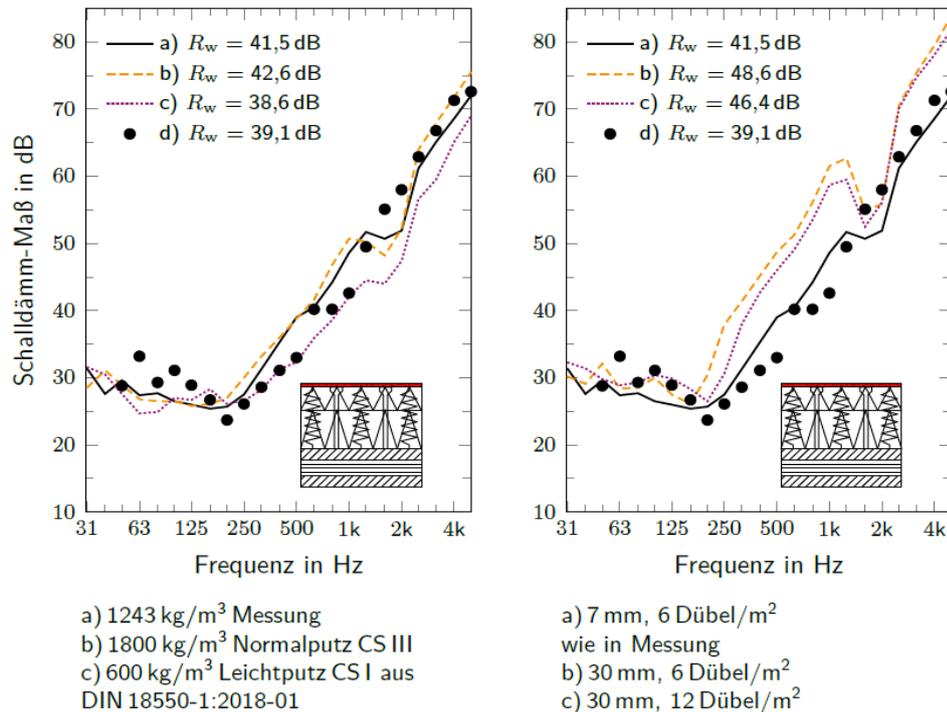


Abbildung 6: Schalldämmung einer Massivholzwand mit WDVS. FEM-Berechnungsergebnisse (Kurven a bis c) für die Variation der Putz-Rohdichte (links) und der Putzdicke (rechts). Zum Vergleich das Messergebnis der Bauteilprüfung (Kurve d) mit 7 mm Putz,  $\rho = 1243 \text{ kg/m}^3$  und 6 Dübel/ $m^2$  [5].

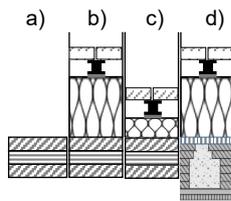
### 3.2. Flachdächer und Dachterrassen

Bei der Planung von modernen Büro- und Wohngebäuden ist vor allem im Bereich der mehrgeschossigen Bauweise i.d.R. ein Flachdach oder ein flachgeneigtes Dach mit ausgebautem Dachgeschoß vorgesehen. Um den Ansprüchen aus Wärmeschutz, Statik, Brandschutz und Schallschutz gerecht zu werden, müssen diese Dachkonstruktionen einer ganzen Reihe von Kriterien entsprechen. Auch im Bereich des Schallschutzes variieren die Ansprüche je nach Ausführung und Nutzung des Dachelementes als reines Dachelement oder als begehbare Dachterrasse. Neben den statischen und bauphysikalischen Anforderungen werden im Bereich von Dachterrassen (wie auch für Loggien) häufig zusätzliche Vorgaben, wie Lattenroste oder Betonplatten als Gehbelag gemacht, die nur eine geringe Entkopplung ermöglichen. Auch die Zielsetzung einer möglichst niedrigen Stufe zwischen Wohnbereich und Dachterrasse im Zuge einer barrierefreien Ausführung stellt eine zusätzliche Herausforderung dar. Nachfolgend soll anhand einiger Konstruktionsbeispiele auf die Einflussgrößen der Schalldämmung von Flachdächern und leicht geneigten Dächern eingegangen werden [2].

#### Dämmung

Nicht druckbelastete Dämmstoffe zwischen den Sparren und in der Unterdecke wirken schallabsorbierend, indem Schallenergie durch Reibung an und zwischen den Dämmstofffasern in Wärmeenergie umgewandelt wird. Hierzu ist eine offenporige Struktur des Dämmstoffes erforderlich, die der Schallwechseldruckwelle einerseits ein Eindringen ermöglicht und andererseits einen genügend großen Widerstand entgegensetzt. Eine gute schallabsorbierende Wirkung wird mit Dämmstoffen erreicht, deren längenbezogener Strömungswiderstand  $\rho$  zwischen 5 kPa s/m<sup>2</sup> und 50 kPa s/m<sup>2</sup> liegt. Dies kann sowohl mit Faserdämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen als auch mit konventionellen Dämmstoffen erreicht werden. Geschlossenzellige Dämmstoffplatten (z.B. Hartschaumplatten) sind nicht geeignet.

Druckbelastete Aufdachdämmungen haben neben der absorbierenden Wirkung auch die Aufgabe der Entkopplung. Bei Steildächern werden hierzu bei Dachkonstruktionen mit Schallschutzanforderungen häufig Faserdämmplatten eingesetzt. Dies ist auch bei flach geneigten Dächern mit Blecheindeckung möglich. Bei Flachdächern werden wegen der höheren Belastung meist Hartschaumdämmplatten verwendet. Diese verhalten sich auf Grund ihrer hohen Steifigkeit, der geringen Rohdichte und der fehlenden Absorption zunächst ungünstig. Wie Abbildung 7 zeigt, unterscheidet sich das bewertete Schalldämmmaß  $R_w$  des Aufbaus b) mit 200 mm EPS-Aufdachdämmung ( $R_w = 38$  dB) kaum vom Grundelement (Aufbau a) mit  $R_w = 37$  dB. Die EPS-Aufdachdämmung hat also keine verbessernde Wirkung auf den Einzahlwert. Auch frequenzabhängig erkennt man erst ab 500 Hz eine Verbesserung gegenüber dem Grundelement. Dies kommt hier besonders deutlich zum Vorschein, da auch die Betonplatten auf Stelzlagern durch die Verlege-Fuge keinen Beitrag zur Luftschalldämmung leisten. Gleiches gilt für die Ausführung mit Vakuum-Paneelen, die gerne für barrierefreie Übergänge zur Dachterrasse eingesetzt werden. Eine deutliche Verbesserung wird erst durch eine Beschwerung des Dachelementes erreicht, wie dies in Aufbau d) durch eine Splittfüllung des Massivholz-Rippenelementes erfolgte. Durch die Beschwerung wird das Element bedämpft und die Resonanz der Dämmplatten zu tieferen Frequenzen verschoben (von 250 Hz auf 125 Hz).



- a) 140 mm Brettsperrholzelement,  
 $m' = 68 \text{ kg/m}^2$
- b) Betonplatten auf Stelzlager  
**200 mm EPS Aufdachdämmung**  
 140 mm Brettsperrholzelement
- c) Betonplatten auf Stelzlager  
**58 mm Vakuumdämmplatte**  
 140 mm Brettsperrholzelement
- d) Betonplatten auf Stelzlager  
**200 mm EPS Aufdachdämmung**  
 196 mm Rippenelement mit Splitt,  
 $m' = 145 \text{ kg/m}^2$

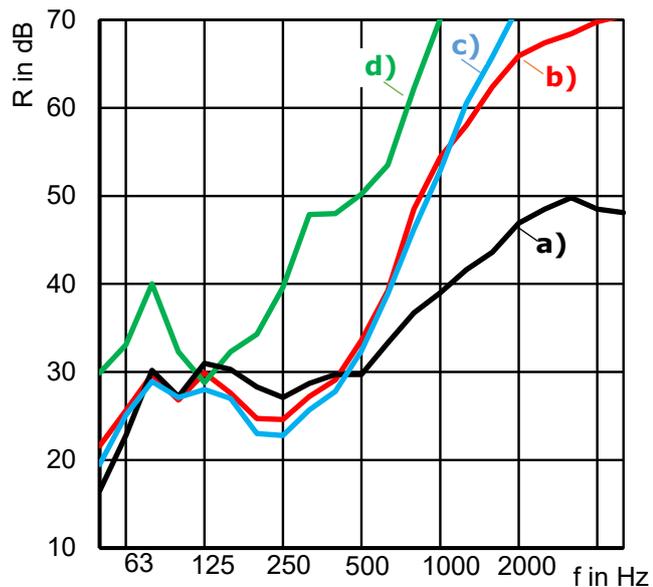


Abbildung 7: Einfluss der Aufdachdämmung auf das Schalldämm-Maß von Flachdachaufbauten. Der Aufbau oberhalb der Dämmplatte (hier: 40 mm Betonplatten, Stelzlager, Baulager, Dachabdichtung) ist für die Luftschallübertragung auf Grund der Fugen zwischen den Betonplatten nicht maßgebend.

a) Dachelement ohne Aufbau,  $R_w = 37 \text{ dB}$

b) Dachelement mit 200 mm EPS und Betonplatten auf Stelzlager,  $R_w = 38 \text{ dB}$

c) Dachelement mit 58 mm Vakuumpanel und Betonplatten auf Stelzlager,  $R_w = 37 \text{ dB}$

d) Dachelement mit Splitt-Beschwerung im Element, 200 mm EPS und Betonpl. auf Stelzlager,  $R_w = 51 \text{ dB}$

### Abdichtung, Dachdeckung und Gehbelag

Der Aufbau oberhalb der Dämmstoffebene wird nutzungsabhängig variiert. Für nicht begehbare Flachdächer werden Kiesschüttungen, extensive Begrünungen oder Dachabdichtungsbahnen verwendet. Die Ausführung mit Dachabdichtungsbahnen ohne weitere Zusatzmassen ergibt erwartungsgemäß geringere Schalldämm-Maße (siehe Abbildung 5c). Bisherige Vergleichsmessungen ergaben jedoch auch für Dachaufbauten mit extensiver Dachbegrünung deutlich geringere Schalldämm-Maße als für Dachaufbauten mit Kiesauflagen gleicher flächenbezogener Masse (siehe Abbildung 5a). Als Ursache kann hier der Einfluss der Dränschicht in Kombination mit einer Speicherplatte genannt werden, die im Frequenzbereich von 125 Hz bis 2000 Hz eine Reduzierung der Schalldämmung bewirkt.

Für leicht geneigte Dächer kommen Metaldachdeckungen zum Einsatz. Leichte Dachabdichtungen und Metaldachdeckungen verhalten sich insgesamt ungünstiger als schwere, mehrlagig aufgetragene Abdichtungsbahnen. Bei Metalleindeckungen können jedoch Holzfaserdämmplatten eingesetzt werden, die eine deutliche Verbesserung gegenüber Hartschaumdämmplatten ergeben. Zusätzlich wurde zur Bedämpfung der Metalleindeckung eine Bitumen-Unterdachbahn eingebaut, um die Geräuschentwicklung bei Starkregen zu reduzieren. Begehbare Dächer die als Dachterrassen genutzt werden, können mit Betonplatten im Splittbett, Platten auf Stelzlager oder einem Holzrost (Holzdielen auf Lagerhölzern) ausgeführt werden. Während die Betonplatten im Splittbett durch ihre flächenbezogene Masse wirksam sind, kann bei Stelzlager und Holzrosten eine zusätzliche Reduzierung der Übertragung durch Entkopplungsmaßnahmen (elastische Lagerung auf Baulagern) erreicht werden. Hierzu wird das Entkopplungsmaterial vom Hersteller auf eine geeignete Eigenfrequenz des Aufbaus ausgelegt. Eine gute Entkopplung ist für Eigenfrequenzen  $f_0 = 20$  bis  $30 \text{ Hz}$  zu erwarten. Um eine möglichst geringe Einfederung zu erreichen, wurde bei dem geprüften Aufbau die Eigenfrequenz auf  $f_0 < 60 \text{ Hz}$  ausgelegt.

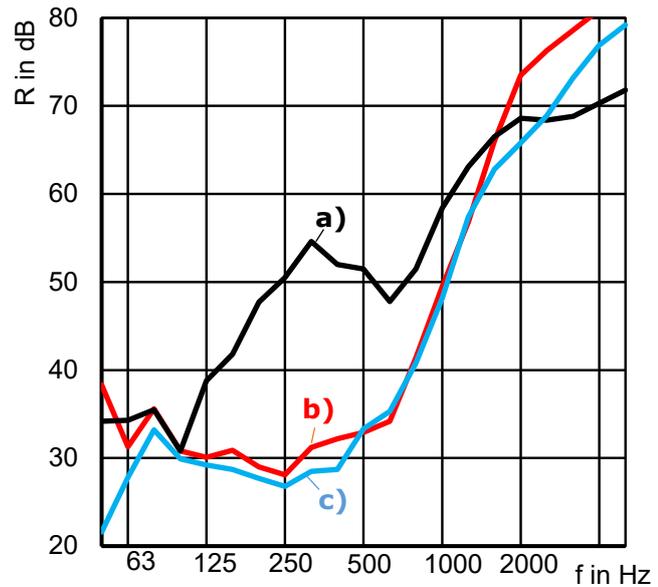
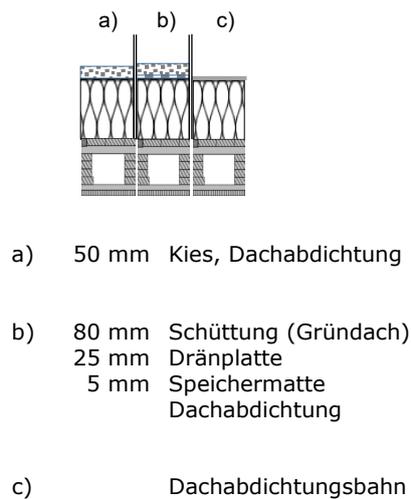


Abbildung 8: Vergleich der Aufbauten: Kiesdach, Gründach und einfache Dachabdichtungsbahn auf einem Brettsperrholz – Kastenelement mit 200 mm EPS Aufdachdämmung

a) Kiesdach,  $R_w = 55$  dB, b) Gründach,  $R_w = 39$  dB, c) Dachabdichtung,  $R_w = 38$  dB

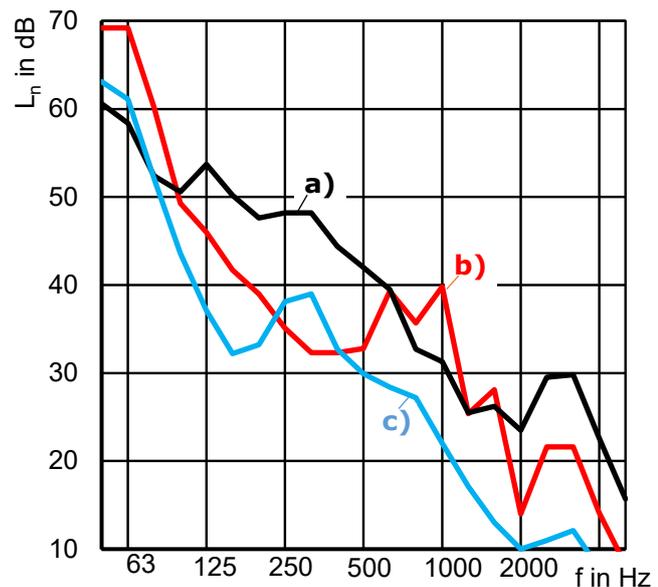
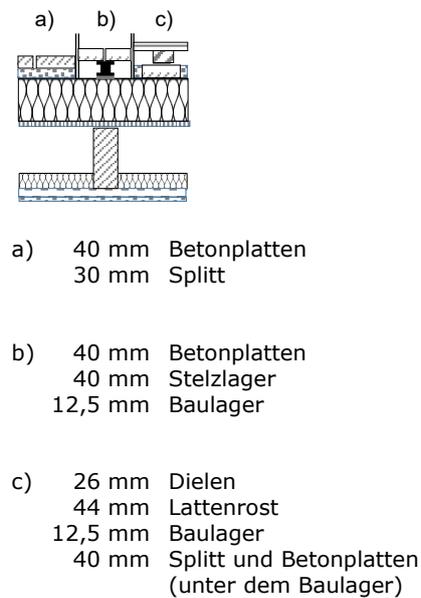


Abbildung 9: Norm-Trittschallpegel unterschiedlicher Aufbauten auf einem Sparren-/Balkenelement mit abgehängter Unterdecke und 140 mm EPS-Aufdachdämmplatten. a) Betonplatten im Splittbett,  $L_{n,w} = 44$  dB, b) Betonplatten auf Stelzlager, Entkopplung durch Baulager,  $L_{n,w} = 38$  dB, c) Dielen auf Lattenrost, Entkopplung durch Baulager, Zusatzmasse durch Splitt,  $L_{n,w} = 31$  dB

## 4. Regengeräusche

Für flach geneigte Dächer mit Metalleindeckung aber auch für Dächer mit einem großen Dachflächen-Fensteranteil, ist bei der Planung auch die Berücksichtigung von Regengeräuschen von Interesse.

Vor allem bei Konstruktionen mit sehr leichten Aufdachdämmungen und Metalleindeckungen können Regengeräusche im Wohnraum wahrnehmbar werden. Bei den Untersuchungen dieser Dachtypen war somit von Interesse, ob die Wahrnehmung der Regengeräusche im Wohnraum in einen direkten Zusammenhang mit der Schalldämmung der Dachelemente gebracht werden kann. Dies würde eine Beurteilung der zu erwartenden Regengeräusche stark vereinfachen. Im Forschungsprojekt [2] und einer anschließenden Abschlussarbeit an der TH Rosenheim [7], [8] wurden hierzu Berechnungsmodelle für die Regengeräusche mit Messergebnissen in einem Regenprüfstand bei natürlicher Beregnung verglichen.

Für die Überprüfung der Berechnungsmodelle konnte auf eine Abschlussarbeit an der HfT Stuttgart [9] zugegriffen werden, in der verschiedene Scheiben, Plattenmaterialien und einfache Konstruktionen, sowohl in Bezug auf ihr Schalldämm-Maß als auch auf die übertragenen Regengeräusche im Norm-Regenprüfstand des IBP Stuttgart untersucht wurden. Diese Aufbauten wurden zur Validierung gegengerechnet und dann mit den Berechnungsergebnissen für die kompletten Dachaufbauten verglichen. Abbildung 10 zeigt diesen Vergleich für den Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten Schallintensitätspegel  $L_{I,A}$  und dem bewerteten Schalldämm-Maß  $R_w$ .

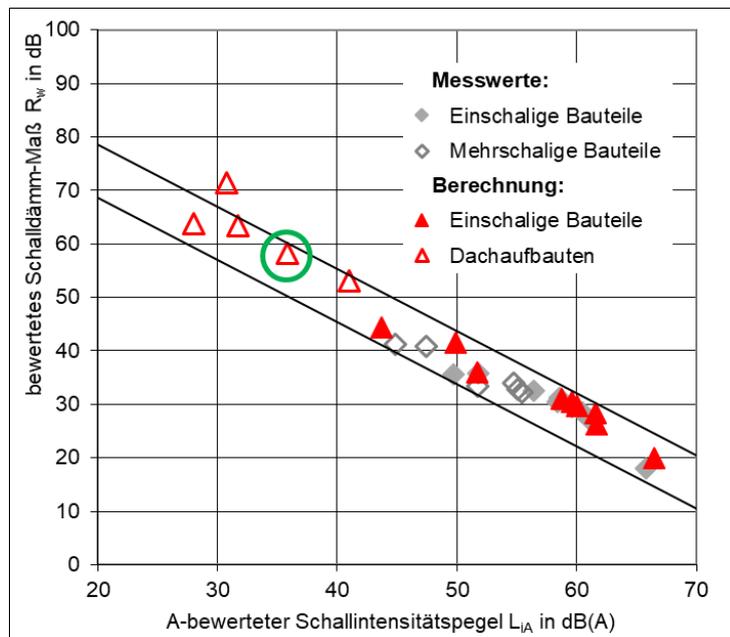


Abbildung 10: Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten Schallintensitätspegel  $L_{I,A}$  und dem bewerteten Schalldämm-Maß  $R_w$  für unterschiedliche Bauteile. Messwerte nach [9], Berechnung nach [2] für Normbedingungen: 40 mm/h Niederschlag mit Tropfendurchmesser  $D = 5,9$  mm, Fallhöhe: 3,50 m

Für den Vergleich der Messergebnisse bei natürlicher Regenanzregung wurde ein Aufbau aus Abbildung 10 gewählt (grün umrandet) und in den in situ Regenprüfstand eingebaut, um die Regenereignisse über mehrere Monate zu erfassen. Neben den Regengeräuschen wurde bei diesen Messungen auch die Regenmenge ermittelt. Damit konnte der Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten Schalldruckpegel  $L_{p,A}$  in üblichen Wohnräumen (für  $H = 2,50$  m,  $T = 0,5$  s,  $S_{\text{Dach}} \approx S_G$ ) und der Niederschlagsmenge dargestellt werden.

Wie Abbildung 11 zeigt, lag die Niederschlagsmenge im Messzeitraum (Februar – Mai 2020) mit 0,1 bis 5 mm/h im Untersuchungszeitraum deutlich unter dem Wert für Normregen (40 mm/h). Die aus den Messdaten zu erwartenden A-bewerteten Schalldruckpegel in Wohnräumen liegen alle unter 25 dB(A). Unter Berücksichtigung des gewählten Dachaufbaus mit einem bewerteten Schalldämm-Maß  $R_w = 58$  dB würden sich daraus folgende Grenzwerte für mäßige Regenereignisse ( $\leq 4$  mm/h) ergeben:

$R_w \geq 48$  dB für einen Regengeräuschpegel  $L_{p,A} < 35$  dB(A)

$R_w \geq 53$  dB für einen Regengeräuschpegel  $L_{p,A} < 30$  dB(A)

$R_w \geq 58$  dB für einen Regengeräuschpegel  $L_{p,A} < 25$  dB(A)

Diese Ergebnisse sollten durch weitere Messungen in der Bausituation an verschiedenen Standorten untersucht werden, um tragfähige Zielwerte für eine praxisnahe Planung festlegen zu können.

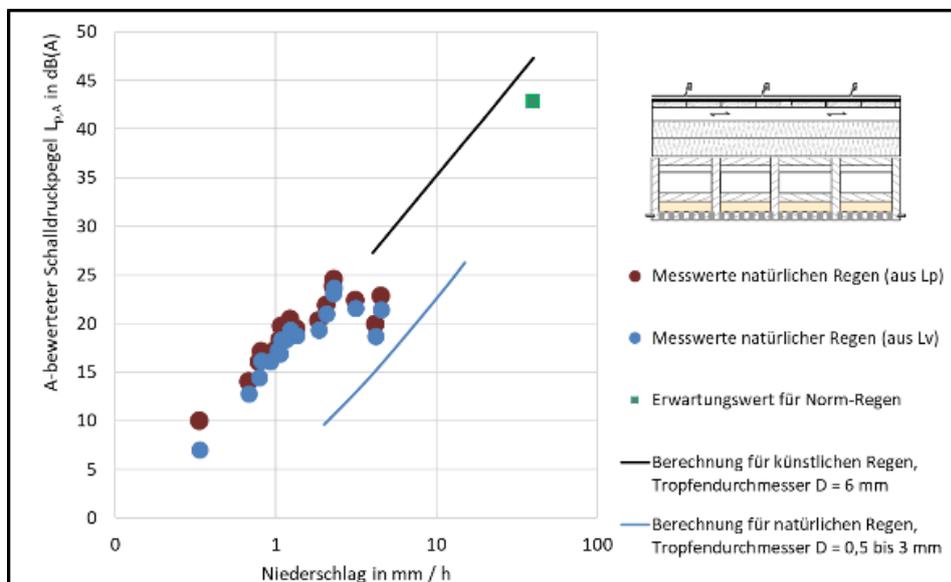


Abbildung 11: Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten Schalldruckpegel  $L_{p,A}$  in üblichen Wohnräumen und der Niederschlagsmenge für den dargestellten Dachaufbau ( $R_w = 58$  dB). Messwerte nach [7]

## 5. Zusammenfassung

Ein Vergleich der Kennwerte für die Schalldämmung von Außenbauteilen zeigt, dass eine Berücksichtigung der Spektrum-Anpassungswerte im Anforderungswert durchaus sinnvoll ist. Werden Außenwände mit Ihren verschiedenen Zusatzmaßnahmen betrachtet, wie dies in Abbildung 4 für eine Holztafelbauwand erfolgte, so relativiert die Berücksichtigung der Spektrum-Anpassungswerte häufig die Größe des Verbesserungspotentials.

Für Massivholz-Außenbauteile, die raumseitig unbedeckt bleiben sollen, wurden sowohl für den Einsatz als Außenwand als auch als Flachdach oder Dachterrasse Verbesserungsansätze aufgezeigt. Für Massivholzwände mit WDVS aus nachwachsenden Rohstoffen wurden anhand von FEM-Simulationen die Einflüsse der Befestigung und der Putzausführung dargestellt; bei Flachdächern und Dachterrasen das Verbesserungspotential durch Zusatzmassen im Dachelement.

Abschließend wurde eine Möglichkeit erläutert, die zu erwartenden Regengeräusche bei flachgeneigten Dächern mit Metalleindeckung abzuschätzen. Hier können über den Zusammenhang zwischen der Schalldämmung des Bauteils und der abgestrahlten Schallintensität bei Regenanzug Zielwerte abgeleitet werden.

## 6. Literatur

- [1] Andreas Meier, Forschungsvorhaben Schallschutz gegen Außenlärm, Anforderungen zum baulichen Schallschutz gegen Außenlärm nach DIN 4109 unter Berücksichtigung des derzeitigen Stands der Technik als Grundlage für bauaufsichtliche Regelungen, Fraunhofer IRB Verlag, 2021
- [2] Châteaueuvieux-Hellwig C., Bacher, S., Rabold, A., Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise – Luft- und Trittschalldämmung von Flachdächern und Dachterrassen, Forschungsprojekt ift Rosenheim, in Bearbeitung
- [3] Holtz, F.; Rabold, A.; Buschbacher, H.P.; Hessinger J.: Hochschalldämmende Außenbauteile aus Holz, DGfH-Forschungsbericht der LSW – Labor für Schall- und Wärmemesstechnik GmbH (gefördert durch Holzabsatzfonds), 2003
- [4] Huber, A., Ermittlung von Planungsdaten für den Schallschutz von Außenwänden in Holzbauweise mit unterschiedlichen Dämmstofftypen. Datensammlung – Bauteilmessung – Simulation, Bachelor Thesis, Technische Hochschule Rosenheim, 2018
- [5] Huber, A., Entwicklung FEM basierter Modelle zur Vorhersage schalltechnischer Eigenschaften von Massivholzelementen mit Wärmedämmverbundsystemen aus nachwachsenden Rohstoffen, Masterarbeit, Technische Hochschule Rosenheim, 2020
- [6] Pirch, P. und B. Nusser (2017). «Schallschutz von WDVS auf Brettsper Holz wänden». In: Holz Haus Tage (5.–6. Okt. 2017). Bad Ischl.
- [7] Roderer, C.: Messung von Regengeräuschen in einem in situ Regenprüfstand, Bachelorarbeit TH Rosenheim, 2020
- [8] Martin, M., Prognose von Regengeräuschen aus der Anregungskraft der Regentropfen, Bachelorarbeit TH Rosenheim, 2019
- [9] Rube, A., Messung von Regengeräuschen nach DIN EN ISO 140-18, Vergleich von Schalldämmung und Regengeräuschpegel für verschiedene Bauteile, Bachelorarbeit HfT Stuttgart, 2011

# **Tiefe Frequenzen beim Trittschall und differenzierte Flankenbewertung bei Trittschallübertragung – Ifo Schriftreihe Schallschutz im Holzbau**

Adrian Blödt  
IB Blödt / Blödt Holzkomplettbau GmbH  
Kohlberg, Deutschland





# Tiefe Frequenzen beim Trittschall und differenzierte Flankenbewertung bei Trittschallübertragung – Ifo Schriftreihe Schallschutz im Holzbau

## 1. Bedeutung tiefer Frequenzen im Bereich des Trittschalls

Die normativen Regelwerke in Deutschland kennen seit jeher den Frequenzbereich von 100 Hz bis 3150 Hz als Auswertungsbereich für bauakustische Kennwerte. Dabei erfolgt im Bereich des Trittschalls die Bewertung durch die Anregung mit dem Normtrittschallhammerwerk und der anschließende «Vergleich» mit einer verschobenen Bezugskurve. Für den bautechnisch nachzuweisenden Schallschutz wird immer der bereits genannte Bereich von 100 Hz bis 3150 Hz herangezogen. Es werden die Kennwerte  $L'_{n,w}$  (bewerteter Normtrittschallpegel am Bau) und  $L_{n,w}$  (bewerteter Normtrittschallpegel «im Labor») als Kenngrößen zur Beschreibung der bauakustischen Güte gegenüber Trittschallanregung herangezogen. Sehr häufig klagen Nutzer jedoch, unabhängig von der Bauweise, über tieffrequente Störungen, welche von Gehgeräuschen verursacht werden. Genau diese Gehgeräusche, die als Dröhnen zum Ausdruck kommen, sind Zusehens Grund juristischer Auseinandersetzungen. Die Klagen der Nutzer sind dabei sehr häufig unabhängig von der erreichten Höhe des Trittschallpegels  $L'_{n,w}$  und kommen sowohl bei «guten» als auch schlechten Decken im Sinne des  $L'_{n,w}$  vor. Es muss also die Frage gestellt werden, ob die reine Bewertung von Deckenkonstruktion durch  $L'_{n,w}$  bzw.  $L_{n,w}$  für die subjektive Wahrnehmung von Nutzern gegenüber Gehgeräuschen ausreichend ist. Hierbei kann sowohl der Frequenzbereich der Bewertung aber auch die Art der Anregung durch das Normhammerwerk in Frage gestellt werden. Der zu bewertende Frequenzbereich ist in Abbildung 1 dargestellt.

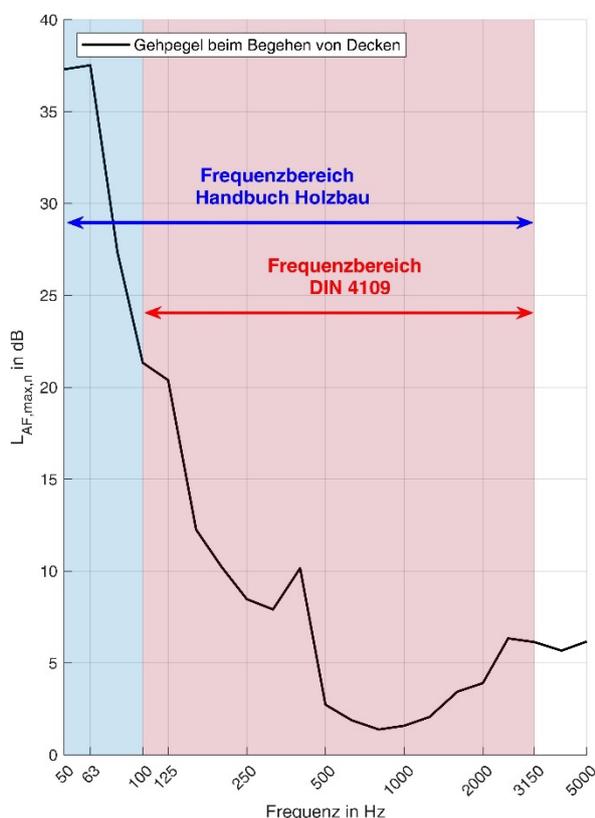


Abbildung 1: schematische Darstellung des Laufpegels unter einer Holzdecke

Der rot hinterlegte Bereich in Abbildung 1 ist der «Normauswertebereich» von 100 Hz bis 3150 Hz, welcher bisher zur Bewertung der Deckenkonstruktion herangezogen wird. Die Pegel welche typischerweise beim Gehen auf Decken hervorgerufen werden führen im roten Bereich in Abbildung 1 zu relativ geringen Pegeln. Das heißt die Schallenergie, die eine Deckenkonstruktion in diesem Bereich durch einen Geher überträgt, ist vergleichsweise gering. Der Vergleich wäre in diesem Fall bei mit dem blauen Bereich in Abbildung 1 anzustellen. Dies ist der erweiterte Frequenzbereich bis 50 Hz. Es wird deutlich, dass hier die Laufpegel deutlich größere Werte annehmen, was einer verstärkten Schallübertragung in diesem Bereich gleichkommt. Dieser Bereich wird aber durch  $L'_{n,w}$  oder  $L_{n,w}$  nicht erfasst, da dieser eben unterhalb von 100 Hz liegt. Das bedeutet dort, wo die «meiste» Schallenergie angeregt bzw. übertragen wird, kann nach Norm kein Kennwert gebildet werden. Man könnte getrost von einem «tauben Fleck» sprechen. Durch die Erweiterung des Betrachtungsspektrums bis auf 50 Hz kann dieser «Fehler» behoben werden. Hierbei wird dann der  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  bzw. der  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  betrachtet ( $C_{I,50-2500}$  Spektrumanpassungswert  $I = \text{Impact}$  für den Frequenzbereich von 50 – 2500 Hz). Dadurch wird erreicht, dass bei Anregung durch die «Ersatzquelle» Normtrittschallhammerwerk auch die Bereiche erfasst werden, die hohe Laufpegel hervorrufen können. Werden nun «gehör richtig» bewertete Laufpegel (A-bewertete Pegel) von echten Gehern auf Decken über den  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  (Anregung dem Normhammerwerk) aufgetragen, ergibt sich ein klar erkennbarer Zusammenhang. Mit sinkendem  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  sinkt auch die Störwirkung die beim Nutzer hervorgerufen wird, dies ist in Abbildung 2 vergleichend zu erkennen.

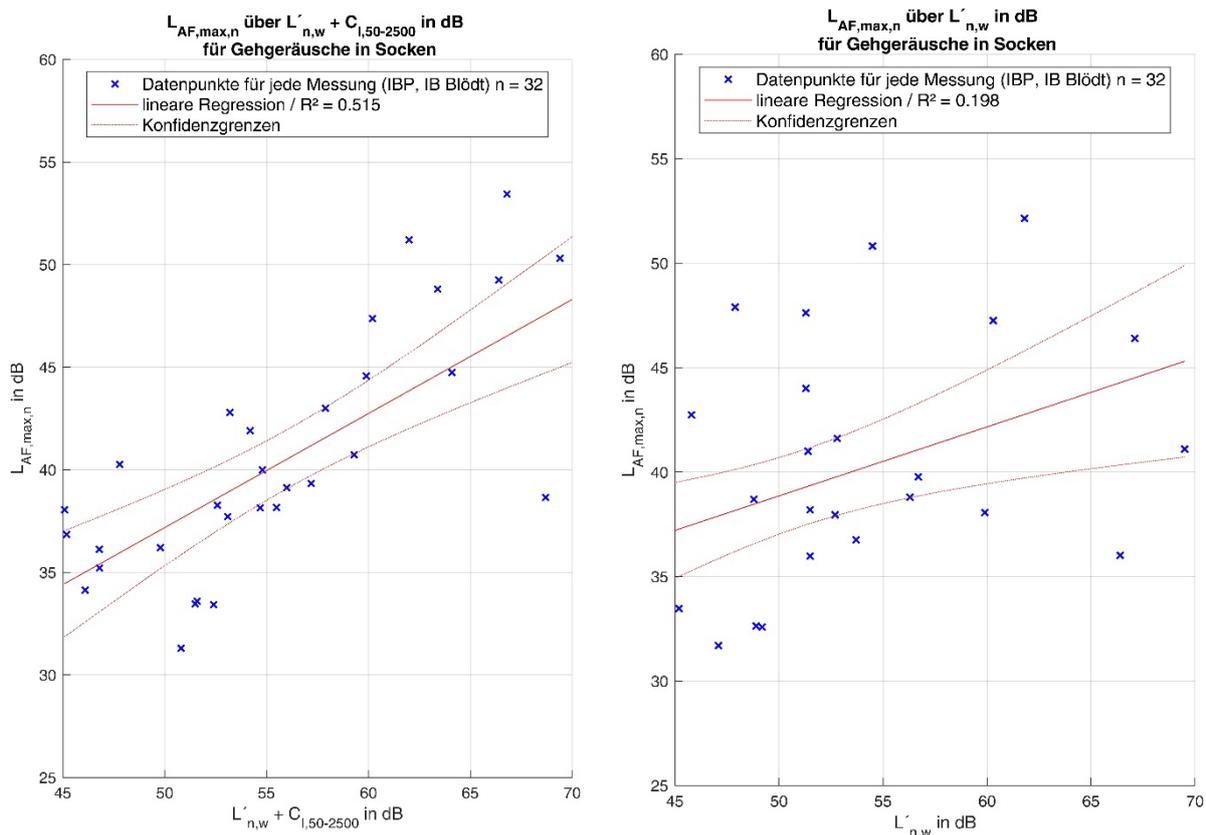


Abbildung 2: Vergleich von Messergebnissen des «gehör richtig» bewerteten Pegels über dem Deckenmesswert  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  sowie statistische Kennwerte links / rechts: gleiche Vorgehensweise für die A-bewerteten Pegel über dem  $L'_{n,w}$

Die Abnahme der Störwirkung bei sinkendem Messwert in Abbildung 2/links ist bei gleicher Vorgehensweise mit dem  $L_{n,w}$  (Abbildung 2/rechts) nicht verzeichnen. Wird die «gehör richtige» Bewertung mit dem  $L_{n,w}$  verglichen, so lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang bzw. eine deutlich geringere statistische Passung zwischen verbessertem Deckenkennwert und geringerer Störwirkung herstellen. Trotz der sehr guten Datenlage hinsichtlich der

Relevanz der tieffrequenten Trittschallgeräusche und dem Deskriptor  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  wird in Deutschland auch für den erhöhten Schallschutz noch immer die reine Verbesserung der Kenngröße  $L_{n,w}$  bzw.  $L'_{n,w}$  normativ angewandt.

Doch nicht nur die Erweiterung des Frequenzbereichs kann die tatsächliche Störwirkung wirkungsvoller darstellen, auch die Verwendung alternativer Anregungsquellen kann zu einer verbesserten Bewertung von Deckenkonstruktionen hinsichtlich der akustischen Störwirkung führen. Als Beispiel sei hier die Anwendung des «japanischen Gummiballs» genannt. Bei dieser Methode werden Decken durch Abwurf eines normierten Gummiballs (weiche Trittschallquelle) aus 1,0m Höhe sehr gezielt im tieffrequenten Bereich angeregt. Diese Anregung kommt Gehgeräuschen bzw. störenden Laufgeräuschen näher als die Anregung mit dem Normtrittschallhammerwerk. Im europäischen Raum ist diese Methode noch nicht weit verbreitet, während sie in asiatischen Ländern die Standardvorgehensweise darstellt. Auch ein Wechsel der Anregungsquelle mit höherem tieffrequenten Anregungsanteil, wie hier beschrieben, kann dabei behilflich sein, leichte Decken gezielt für das genannte Spektrum zu optimieren.

Sowohl für die Erweiterung des Frequenzbereichs als auch den Wechsel der Anregungsart bei Trittschall- und Laufgeräuschen besteht noch Forschungsbedarf. Die zahlreichen Rückmeldungen aus der Praxis sowie umfangreiche Forschungsarbeiten zeigen aber, dass die alleinige Reduktion von  $L'_{n,w}$  oder  $L_{n,w}$  nicht zielsicher zu subjektiv wahrnehmbar verbesserten Deckenkonstruktionen führt. Es bedarf weiterer Deskriptoren wie zum Beispiel  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  um Decken gezielt verbessern zu können.

## 1.1. Anforderungskenngrößen zur Berücksichtigung tiefer Frequenzen

Wie bereits beschrieben und erläutert sind über den Normtrittschallpegel hinausgehende Kenngrößen notwendig um das Nutzerempfinden besser abzubilden. Dabei wird immer darauf abgestellt, ob ein Laufgeräusch störend ist oder nicht. Für die meisten Menschen liegt die Störschwelle gegenüber Trittschall zwischen 35 – 38 dB(A). Liegen die durch das Begehen einer Decke hervorgerufen A-bewerteten Pegel über diesem Pegelbereich, so nehmen die meisten Mensch diese als unangenehm wahr. Liegt der «gehörrichtig» bewertete Pegel unter 33 -35 dB(A), werden Gehgeräusche nicht oder nicht mehr störend wahrzunehmen. Unter Zuhilfenahme der Zusammenhänge aus Abbildung 2 lassen sich daraus Anforderungskenngrößen herleiten. Dies ist in Abbildung 3 dargestellt.

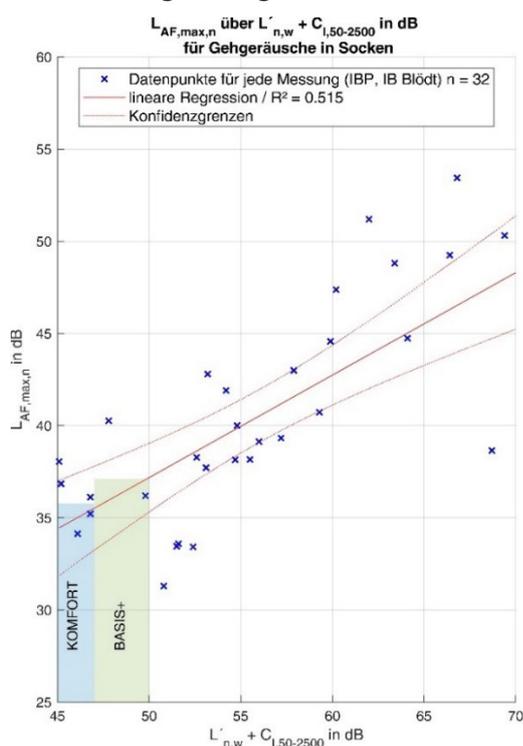


Abbildung 3: Messergebnisse des «gehörrichtig» bewerteten Pegel über dem Deckenmesswert  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  sowie Eintragung der Grenzbereich für die Anforderungen in [1]

Es ist zu erkennen, dass bei einem Wert von  $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \approx 50$  dB die Störschwelle in der Regel unterschritten wird. Bei  $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 47 - 45$  dB ist davon auszugehen, dass die meisten Mensch die Laufgeräusche nicht mehr bzw. nicht mehr störend wahrnehmen. Aus dieser Erkenntnis lassen sich für Wohnungstrenndecken hinsichtlich des Trittschallschutzes gezielt Anforderungskennwerte für  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  darstellen, siehe Abbildung 4.

Für [1] wurde ein Tabellenwerk entwickelt, welches die oben ausgeführten Erkenntnisse aufnimmt und als Empfehlungswerte für die Vereinbarung eines Schallschutzniveaus darlegt.

1	Schallschutzniveau		
	2	3	4
Bauteil / Übertragungsweg:	BASIS $\Delta$ DIN 4109-1:2018	BASIS +	KOMFORT
1 Wohnungstrennwand	$R'_{w} \geq 53$ dB	$R'_{w} \geq 56$ dB	$R'_{w} \geq 59$ dB
2 Reihenhaustrennwand	$R'_{w} \geq 62$ dB	$R'_{w} \geq 62$ dB $R_w + C_{50-5000} \geq 62$ dB <sup>1) 2)</sup>	$R'_{w} \geq 67$ dB $R_w + C_{50-5000} \geq 65$ dB <sup>1) 2)</sup>
3 Wohnungstrenndecke	$R'_{w} \geq 54$ dB	$R'_{w} \geq 57$ dB	$R'_{w} \geq 60$ dB
4 Wohnungstrenndecke Trittschallpegel	$L'_{n,w} \leq 53$ dB <sup>2)</sup>	$L'_{n,w} \leq 50$ dB $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 50$ dB <sup>2)</sup>	$L'_{n,w} \leq 46$ dB $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 47$ dB <sup>2)</sup>
5 Dachterrassen und Loggien mit darunterliegenden Wohnräumen	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB
6 Decken unter Laubengängen (in alle Schallausbreitungsrichtungen)	$L'_{n,w} \leq 53$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB
7 Treppenlauf und Treppenpodest	$L'_{n,w} \leq 53$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB
8 Außenlärm nach Lärmpegelbereich und Anforderungen der DIN 4109			Anforderungen nach DIN 4109 inkl. Berücksichtigung $C_{50-5000}$ für das opake Bauteil <sup>4)</sup>
9 Weitere Bauteile	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-5:2019 <sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> ergänzender Luftschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken  
<sup>2)</sup> ergänzender Trittschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken  
<sup>3)</sup> Sonderregelung für Deckenkonstruktionen, die der DIN 4109-33:2016 zuzuordnen sind, ansonsten  $L'_{n,w} \leq 50$  dB  
<sup>4)</sup> Für Fensterflächenanteile über 30% gesonderte Betrachtung, reine Bauteilanforderung  
<sup>5)</sup> Anforderung an die Doppelschalwand, beide Wände  
<sup>6)</sup> nach jeweils gültiger Fassung oder E-DIN 4109-5:2018

Abbildung 4: Niveauevereinbarungstabelle aus [1]

Dabei wird in [1] auf Kennwerte abgezielt, welche den tieffrequenten Bereich der beim Gehen sehr dominant in Erscheinung tritt zu berücksichtigen. Bei der Luftschallübertragung können diese Erkenntnisse nicht eins zu eins angewandt werden, da es fraglich ist, ob hier bei wohnüblichen Geräuschen überhaupt eine derart starke tieffrequente Anregung und damit überhaupt die Notwendigkeit zu deren Berücksichtigung vorliegt. Eine Ausnahme bildet hier die Gebäudetrennwand. Bei diesem Wandtypus kann es je nach Lage der Treppen im Gebäude auch zu einer Anregung durch Gehen und tieffrequente Geräusche kommen. Vor diesem Hintergrund wird in [1] eine Berücksichtigung der tiefen Frequenzen empfohlen, welche sich unter anderem aus der Anregung durch Gehgeräuschen ableiten lassen.

## 2. Maßnahmen zur Minderung der tieffrequenten Übertragung in Holzbauten

Es darf nun zurecht die Frage gestellt werden, mit welchen Maßnahmen eine gezielte Verbesserung des tieffrequenten Übertragungsverhaltens herbeigeführt werden kann. Dabei darf die Holzbauweise nicht als eine Bauweise mit immer gleichen Eigenschaften verstanden werden. Es ist vielmehr ein differenzierter Blick auf die unterschiedlichen Bausysteme zu werfen. Die Unterschiede sind vielfältig und müssen gesondert betrachtet werden. Im Rahmen dieses Beitrags sollen nun die Balkenlage und die Massivholzdecke aus Brettsperrholz genauer betrachtet werden. Dabei werden aber nicht alle Maßnahmen zur Verbesserung des  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  dargestellt. Neben der Erhöhung der Masse und der Estrichdicke, dürfte für eine Balkenlage das größte Potential in der Optimierung der Lageeigenschaften von Unterdecken liegen. Deshalb soll an dieser Stelle die Anwendung von Unterdecken an Balkenlagen und Massivholzdecken dargestellt werden. Für weitere Überlegung und Verbesserungsansätze wird auf [1] verwiesen.

## 2.1. Die Unterdecke bei Holzbalkendecken

Über Jahrzehnte hinweg hat es sich als probates Mittel erwiesen, Holzbalkendecken durch eine Rohdeckenbeschwerung in Verbindung mit einer Unterdecke hinsichtlich des Trittschalls zu verbessern. Tatsächlich ist es unumstritten, dass der bewertete Normtrittschallpegel durch beide Maßnahmen erheblich verbessert wird. Wird jedoch das erweiterte Frequenzspektrum durch den  $C_{I,50-2500}$  ergänzend betrachtet, so muss die Lagerungseigenschaft der Unterdecke nochmals genauer betrachtet werden. Für die Verbesserungen war es bisher üblich mehr Masse auf die Decke zu bringen, was zu einer statischen Zusatzlast führt. Diese zusätzliche Bauteilschicht führt dann folgerichtig auch zu Mehrkosten.

Wie jedes Feder-Masse-System besitzt auch die Unterdecke (Masse = GK Beplankung / Feder = Abhängesystem) mindestens eine «ausgeprägte» Eigenfrequenz. Liegt diese Eigenfrequenz über 20 – 30 Hz, so kommt es in der Regel zu einer Erhöhung der Trittschallübertragung im oben dargestellten und relevanten Bereich von unter 100 Hz. Durch Verwendung spezieller «weicher» Abhänger (z.B. Abbildung 5) oder schwererer Beplankung kann die Eigenfrequenz auf unter 25 Hz bemessen werden.



Abbildung 5: Abhängesystem mit größerer Abhängehöhe z.B. Regopol QHF plus



Abbildung 6: vormontierbares Abhängesystem mit minimaler Abhängehöhe z.B. Knauf VF5

Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, zeigen erste Baumessungen an ca. 7 Objekten, dass diese Systeme den gewünschten Effekt im tieffrequenten Bereich erzielen. Es handelt sich um Deckensysteme ohne Rohdeckenbeschwerung, dafür aber mit weichen Abhängesystemen ( $f_0 \approx 20$  Hz). Es werden sehr geringere Trittschallpegel bei 50 – 63 Hz hervorgerufen und die Summe aus  $L'_{n,w}$  und  $C_{I,50-2500}$  liegt in einem Bereich von 47 – 50 dB.

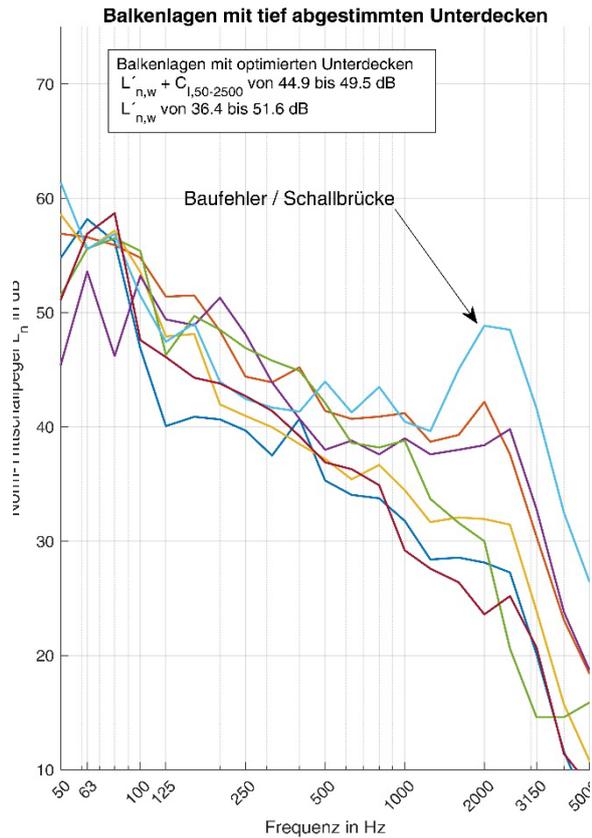


Abbildung 7: Sammlung von Baustellenmessungen an unterschiedlichen Objekten mit optimierten Unterdeckensystem bei Balkenlagen

Dies kommt auch bei der Betrachtung der Einzählwerte zum Ausdruck. Diese liegen für  $L'_{n,w}$  zwischen 37 und 52 dB sowie für  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  zwischen 45 und 50 dB. Der hohe Wert von knapp 52 dB für  $L'_{n,w}$  wird durch einen Baufehler verursacht.

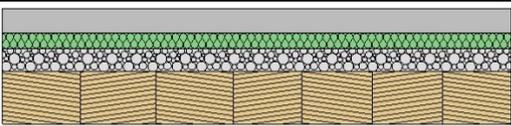
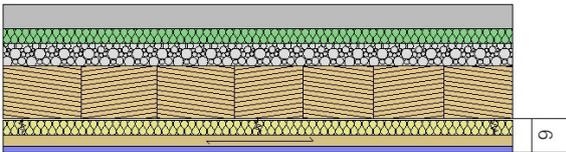
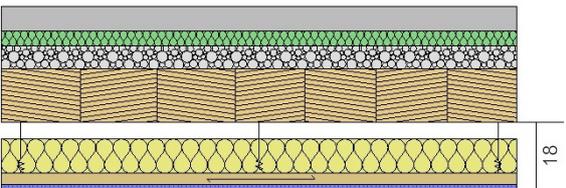
Es zeigt sich auch, dass das gänzlich vernachlässigen von  $L'_{n,w}$  auch nicht ratsam ist, da Baufehler wie eine Schallbrücke ab Randdämmstreifen (hellblaue Kurve in Abbildung 7) sonst unter den Tisch fall würden. Deshalb sind beide Kennwerte  $L'_{n,w}$  und  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  sinnvollerweise zu berücksichtigen.

Sowohl im Normauswertebereich und inkl. der Berücksichtigung von tiefen Frequenzen zeichnen sich Balkenlagen mit optimierten Abhängsystem zusätzlich durch Werte von  $L_{n,w} + C_{I,50-2500} < 50$  dB aus. Dies wird mit einer sehr wirtschaftlichen Decke ohne weitere Beschwerung erreicht. Dieser Decke wäre der Vorzug gegenüber der beschwerten Decke zu gewähren, wenn die subjektive Höreindruck und das Wohlbefinden der Nutzer im Vordergrund stehen soll.

## 2.2. Die Unterdecke bei Massivholzdecken

Völlig anders verhält es sich bei der Verbesserung von Massivholzdecken durch abgehängte Unterdecken. Hier sollen zunächst in nachstehender Tabelle die Einzahlwerte für die Trittschallübertragung miteinander verglichen werden.

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Massivholzdeckenauführungen mit und ohne Unterdecke

Abbildung	$L_{n,w}$	$C_{I,50-2500}$	$L_{n,w} + C_{I,50-2500}$	Bemerkung
	40 dB	9 dB	49 dB	Massivholzdecke mit 90 kg/m² Beschwerung
	24 dB	29 dB	<b>53 dB</b>	Massivholzdecke mit 90 kg/m² Beschwerung zusätzlich Unterdecke mit Abstand <b>90 mm</b>
	23 dB	26 dB	49 dB	Massivholzdecke mit 90 kg/m² Beschwerung zusätzlich Unterdecke mit Abstand <b>180 mm</b>

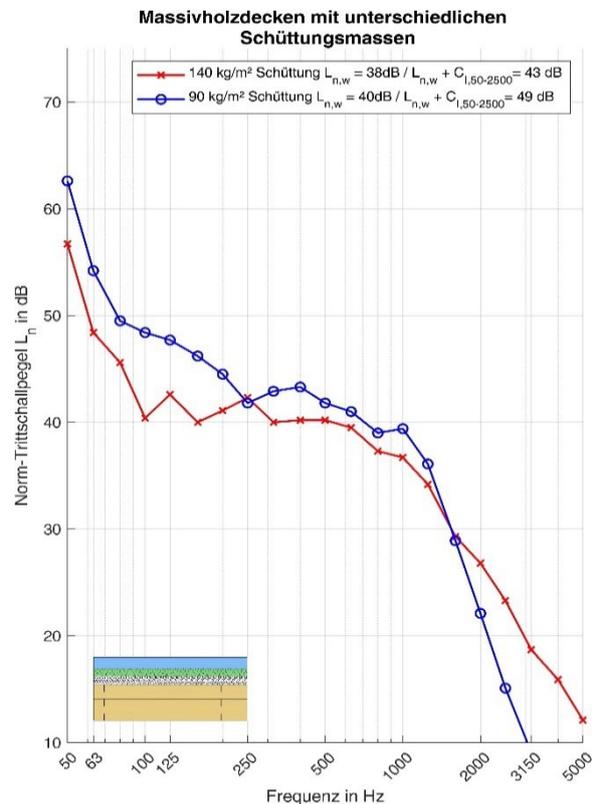
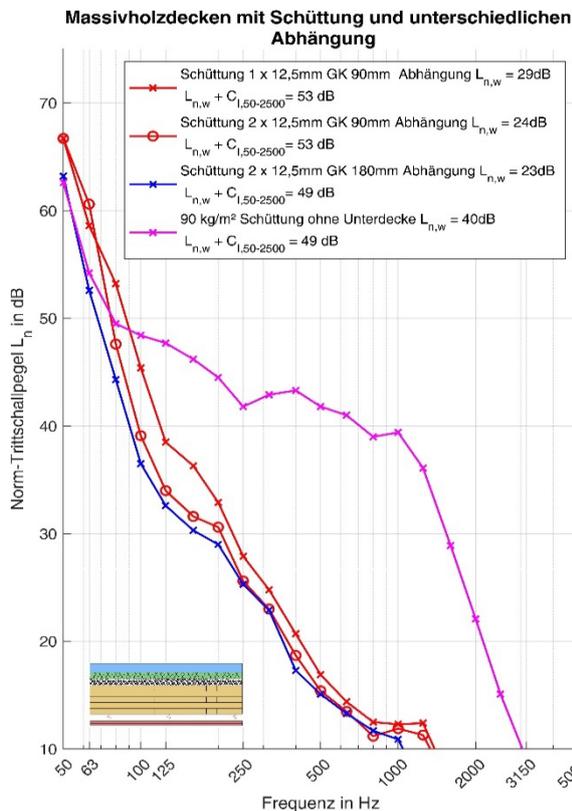


Abbildung 8: Massivholzdecken mit abgehängten Unterdecken links im Vergleich zu Massivholzdecken ohne Unterdecke / rechts Massivholzdecken mit unterschiedlichen Rohdeckenbeschwerungen

In Tabelle 1 und Abbildung 8 wird deutlich, dass die Unterdecke eine sehr große Verbesserung des  $L_{n,w}$  mit sich bringt. Wird aber der Bereich unter 100 Hz untersucht, so führen Unterdecken mit Abhänggehöhen unter 200 mm zu einer Verschlechterung des subjektiv wahrnehmbaren übertragenen Trittschalls,  $L_{n,w} + C_{I,50-2500} > 50$  dB. Auch hier versteckt sich der Grund im Feder-Masse System und dessen Eigenfrequenz. Hierbei spielt die Dicke der Luftschicht, welche zwischen 2 schallharten Flächen (OK Gipsdecke zu UK Massivholzdecke) eingeschlossen ist, die entscheidende Rolle. Liegt die Dicke der Luftschicht um 100 mm, so stellt sich  $f_0 \approx 50$  Hz («Luftfeder») ein. Genau bei dieser Frequenz kommt es zu einer verstärkten Übertragung des Trittschalls, was sich mit  $L_{n,w} + C_{I,50-2500} = 53$  dB deutlich im Einzahlwert niederschlägt. Das bedeutet sogar eine Verschlechterung gegenüber der Decke ohne weitere Unterdecke. Daraus lässt sich schließen, dass nicht alle Erkenntnisse von Holzbalkendecken ohne weitere Überprüfung auch auf Massivholzdecken übertragbar sind. Nicht jede Maßnahme, die bei Holzbalkendecken gute Wirksamkeit erzielt, erzielt dies in gleicher Art auch bei Massivholzdecken. Bei Massivholzdecken sind Unterdecken nur mit Abhänggehöhen  $d \geq 200$  mm zu empfehlen. Ansonsten sollte bei Massivholzdecken ohne Unterdecke die flächenbezogene Masse der elastisch gebundenen Rohdeckenbeschwerung erhöht werden, um Verbesserung im tieffrequenten und dem Normspektrum zu erzielen. Der Vergleich der Diagramme in Abbildung 8 zeigt dies sehr deutlich.

### 3. Differenzierte Betrachtung der Trittschallübertragung



Abbildung 9: Cover der Informationsdienst Holz Schrift zur differenzierten Flankenbewertung [2]

In diesem Abschnitt soll ein kurzer Überblick über den Inhalt der in Abbildung 9 dargestellten Schrift «Schallschutz im Holzbau – Differenzierte Flankenbewertung bei der Trittschallübertragung» des Informationsdienst Holz gegeben werden. Dabei sollen in aller Kürze die Vorteile einer differenzierten Betrachtungsweise bei der Trittschallübertragung gegenüber dem bisherigen Verfahren Korrektursummanden-Verfahren aufgezeigt werden. Dadurch wird es möglich wirtschaftlichere Holzkonstruktion zu realisieren, bei denen das Potential von Verbesserungsmaßnahmen an flankierenden Wänden bei der Trittschallübertragung voll ausgeschöpft wird.

### 3.1. Überblick über die Methoden und bisherige Vorgehensweise im Holzbau

Bevor das «neue» Bemessungsverfahren nach [3] aufgegriffen werden soll, muss kurz der bisherige Stand zur Bemessung dargestellt werden.

Die Normreihe DIN 4109 stellt in DIN 4109-2:2018 [4] ein Verfahren zur Verfügung, welches in der Regel auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse für die Trittschallübertragung liefert. Dies führt typischerweise zu einer Überbemessung der Bauteile. Bei Messungen auf der Baustelle liegen häufig deutlich günstiger als dies durch die Prognose vorhergesagt wird. Kernstück dieser Herangehensweise ist die Addition der Flankenkorrektursummanden  $K_1$  und  $K_2$ . Dabei steht  $K_1$  für den Übertragungsweg über den Balkenkopf Df (grüner Pfad in Abbildung 10) und  $K_2$  für den Weg für die Randeinbindung der Decke/Estrich DFF (roter Pfad in Abbildung 10). Beide Korrektursummanden werden dem bewerteten Normtrittschallpegel aus dem Labor hinzuaddiert, um den bewerteten Normtrittschallpegel am Bau  $L'_{n,w}$  zu erhalten siehe (1). Anschließend wird der so ermittelte Wert noch mit einem Sicherheitsaufschlag  $u_{prog} = 3$  dB versehen, um die Prognose gegenüber der «Baumessung» und deren üblichen statischen Schwankungen abzusichern siehe (2).

$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_1 + K_2$	(1)
----------------------------------	-----

$L'_{n,w} + u_{prog} \leq zul. L'_{n,w}$	(2)
--	-----

Bei dieser Vorgehensweise kann aber nur eines von in der Regel 4 flankierenden Bauteilen berücksichtigt werden. Deshalb wird hier immer die ungünstige Flanke im Sinne der Trittschallübertragung betrachtet. Dies führt dazu, dass selbst bei maximaler Verbesserung an 3 von 4 flankierenden Wänden (z.B. durch freistehende Vorsatzschalen) diese nicht berücksichtigt werden können. Gleiches gilt für Verbesserungsmaßnahmen wie elastische Zwischenschichten oder dergleichen, welche ebenfalls keine Berücksichtigung finden können. Dadurch kann es zu einer erheblichen Überbemessung der Deckenkonstruktion kommen. Vor diesem Hintergrund wurde in [3] und [2] der Vorschlag für ein differenziertes Berechnungsverfahren in Anlehnung an DIN EN 12354-2:2017 unterbreitet. Diese Vorgehensweise soll nachstehend vorgestellt werden. Dabei sind 2 Methoden bei der Bewertung der flankierenden Übertragung zu unterscheiden. Auf die Darstellung der einzelnen Eingangsparameter soll hier verzichtet und auf [2] und [5] verwiesen werden.

### 3.2. Methode 1 / Untersuchung der einzelnen Pfade

Bei der ersten Methode wird die Vorgehensweise aus dem bisherigen Normverfahren wieder aufgegriffen und es werden die einzelnen Pfade, wie diese in Abbildung 10 dargestellt, bauakustisch bewertet. Dabei wird jedem Pfad ein sogenannter bewerteter Normflankenpegel zugewiesen. Ein Unterschied zum Normverfahren ist, dass Verbesserungen wie elastische Zwischenschichten oder freistehende Vorsatzschalen auf den einzelnen Pfaden berücksichtigt werden können. Der wesentliche Unterschied aber ist nun, dass die Berechnung der beiden Pfade für jede Flanke für sich genommen erfolgt. Das bedeutet es gibt für jede Flanke mindestens zwei bewertete Normflankenpegel. Bei den üblicherweise vorliegenden 4 Flanken ergeben sich somit 8 bewertete Normflankenpegel und ein  $L_{n,w}$  für die direkte Übertragung durch die Decke. Diese Herangehensweise führt zu genaueren Ergebnissen und kann problemlos mit der in [3] dargestellten Trittschallbewertung im Massivbau kombiniert werden. Darüber hinaus lassen sich eine Vielzahl von Verbesserungsmaßnahmen mit verschiedenen Grundwänden kombinieren. Das bedeutet die Prognosemöglichkeiten steigen. Die dazugehörigen Formeln sind unten aufgezeigt. Eingangsdaten für das Verfahren aus dem Labor für diese Berechnungen sind in [2] und [5] ausführlich dargelegt und werden hier nicht wiederholt.

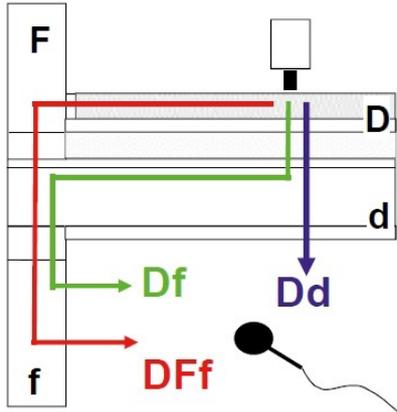


Abbildung 10: Darstellung der einzelnen Übertragungspfade bei der Trittschallübertragung

$L_{n,Df,lab,w} = 10 \log \left( 10^{\left( \frac{L_{n,d,w} + K_1}{10} \right)} - 10^{\left( \frac{L_{n,d,w}}{10} \right)} \right)$	(3)
$L_{n,Df,w} = L_{n,Df,lab,w} - \Delta R_{j,w} - \Delta K_{ij} - 10 \log \left( \frac{S_i}{l_0 l_{ij}} \right)$	(4)
$L_{n,DFf,w} = L_{n,DFf,lab,w} - \Delta R_{j,w} - \Delta K_{ij} - 10 \log \left( \frac{S_i}{l_0 l_{ij}} \right)$	(5)

- $K_1$ : Korrektursummand für den Weg über den Deckenkopf
- $L_{n,DFf,lab,w}$ : Norm-Trittschallpegel flankierend über den Estrichranddämmstreifen im Labor gemäß [2]
- $\Delta R_{j,w}$ : Verbesserung an der Flanke im Empfangsraum gemäß [2]
- $\Delta R_{jj,w}$ : Verbesserung an den beiden Flankenwänden gemäß [2] / werden die Maßnahmen sende- und empfangsraumseitig ausgeführt, so darf mit guter Näherung der Wert für  $R_{j,w}$  mit dem Faktor 1,5 multipliziert werden (wenn keine gesonderten Daten für  $R_{ij,w}$  vorliegen)
- $\Delta K_{ij}$ : Verbesserung des Stoßstellendämmmaßes aus Herstellerangaben<sup>1</sup>

Sind die bewerteten Normflankenpegel berechnet und ist der  $L_{n,w}$  der Decke bekannt, so wird der bewertete Normtrittschallpegel am Bau  $L'_{n,w}$  nach (6) durch energetische Addition aller ermittelten bewerteten Normtrittschall- bzw. Normflankentrittschallpegel gebildet.

$L'_{n,w} = 10 \log \left( 10^{\left( \frac{L_{n,d,w}}{10} \right)} + \sum_{j=1}^n 10^{\left( \frac{L_{n,j,w}}{10} \right)} \right)$	(6)
--	-----

Unter Anwendung des Prognoseaufschlags ist nach (2) der Nachweis zu führen.

### 3.3. Methode 2 / Untersuchung der Gesamtflanke

Die zweite Herangehensweise vereinfacht die oben dargestellte differenzierte Betrachtung dadurch, dass die beiden Flankenpfade durch Messung zu einem Kennwert «verschmolzen» werden. Dabei wird aus einem im Labor ermittelten bewerteten Normflankenpegel eine Umrechnung auf die Bausituation durchgeführt. Dabei gilt der aus [2] und [5] entnommene Kennwert für die Fügestelle nur für die exakt gleiche Kombination aus Decke und Flanke, wie diese im Labor gemessen wurde. Das schränkt die Anzahl der Kombinationen etwas ein. Allerdings ist an dieser Stelle mit sehr genauen Ergebnissen zu rechnen. Der Aufwand für die Prognose reduziert sich auf die Ermittlung von 4 bewerteten Normflankenpegel und dem  $L_{n,w}$ .

Für weitere Erläuterung wird auf [2] verwiesen.

<sup>1</sup> Es handelt sich um die Verbesserung der Stoßstelle, nicht um das Stoßstellendämmmaß an sich. Das bedeutet, es muss die Differenz zwischen starren Stoß und Stoß mit z.B. elastischer Zwischenschicht gebildet werden

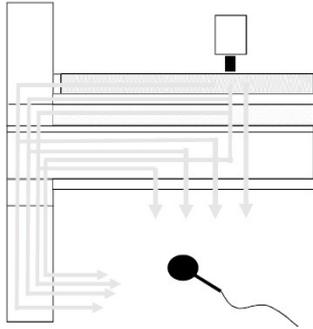


Abbildung 11: Gesamtübertragung an der Stoßstelle ohne Betrachtung einzelner Pfade

$$L_{n,ij,w} = L_{n,f,ij,lab,w} - 10 \log \left( \frac{S_i}{l_0 l_{ij}} \right) \quad (7)$$

Die Berechnung von  $L'_{n,w}$  und der Nachweis ist analog zu Methode 1 nach (6) und (2) zu führen.

### 3.4. Beispielrechnung

Die Vorteilhaftigkeit der aufwändigeren differenzierten Herangehensweise nach Methode 1 soll nun anhand eines kurzen Beispiels aus [2] erläutert werden. Für die genauen Rechenschritte wird auf [2] verwiesen.

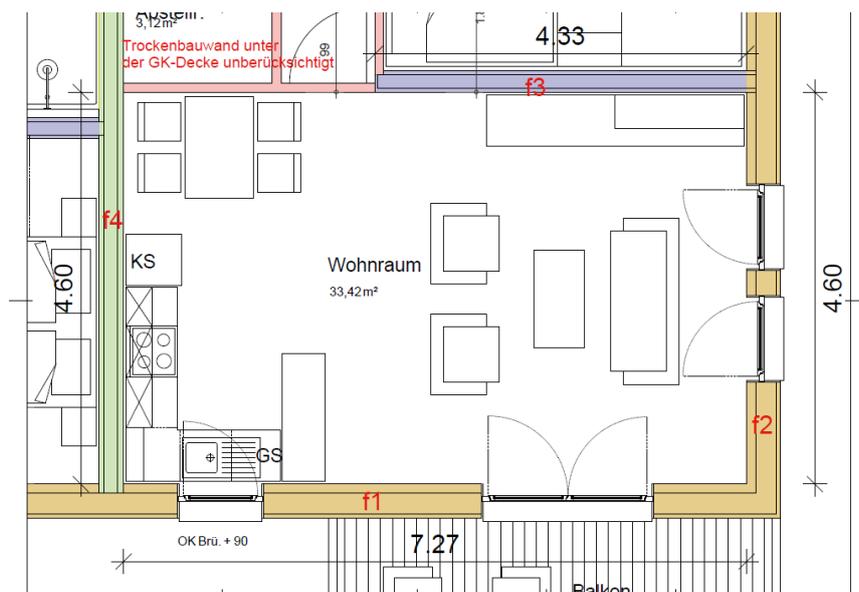


Abbildung 12: Grundrissssituation 2.OG zu 1.OG (Grundrisse deckungsgleich)

- Wohnungstrenndecke:  $L_{n,w} = 37$  dB  
 Balkenlage mit schwimmenden ZE auf Mineralfaser mit 2 lagiger Unterdecke (2 x 18mm GKF) an Abhängung gemäß Abbildung 6
- Flanke f1: Holztafelbauaußenwand 240 mm mit innenseitiger Vorsatzschale und 2 x 12,5mm Hartgipsplatten
- Flanke f2: Holztafelbauaußenwand 240 mm mit innenseitiger Vorsatzschale und 2 x 12,5mm Hartgipsplatten
- Flanke f3: Holztafelbauinnenwand 160 mm beidseits mit 2 x 18 mm Hartgipsplatten
- Flanke f4: Holztafelbau Wohnungstrennwand 160 mm mit innenseitiger Vorsatzschale freistehend und 2 x 12,5mm Hartgipsplatten

Berechnung nach bisherigem Normverfahren in DIN 4109-2:2018 [4]

$$\begin{aligned}
 L_{n,w} &= 37 \text{ dB} \\
 \text{Ungünstigste Flanke} &\rightarrow f3 \\
 K_1 &= 6 \text{ dB ( [4] Tabelle 3 Zeile 1)} \\
 K_2 &= 2 \text{ dB ( [4] Tabelle 4)} \\
 (L_{n,DFf,w}) &= 40 \text{ dB ( [4] Tabelle 4)} \\
 \mathbf{L'_{n,w}} &= \mathbf{45 \text{ dB}} \\
 &\text{zzgl. 3 dB für } u_{\text{prog}} = 48 \text{ dB} \rightarrow \text{Mindestschallschutz erreicht}
 \end{aligned}$$

Berechnung nach Methode 1 in [2].

Tabelle 2: Berechnung nach Methode 1 in [2], Übersicht der Rechen­daten

$L_{n,w}$	37 dB		
<b>Flanke f1</b>		<b>Flanke f2</b>	
$L_{n,Df,w}$	32,1 dB	$L_{n,Df,w}$	30,1 dB
$L_{n,DFf,w}$	28,9 dB	$L_{n,DFf,w}$	26,9 dB
<b>Flanke f3</b>		<b>Flanke f4</b>	
$L_{n,Df,w}$	30,9 dB	$L_{n,Df,w}$	28,1 dB
$L_{n,DFf,w}$	28,1 dB	$L_{n,DFf,w}$	23,9 dB
$L'_{n,w}$ :		<b>40,7 dB</b>	

Zzgl. 3 dB für  $u_{\text{prog}}$  ergibt sich  $L'_{n,w} \approx 44 \text{ dB}$  → erhöhter Schallschutz nach DIN 4109-5:2020 wäre erreicht. Tieffrequente Übertragung wäre gesondert durch eine Prüfung der Bauteilkennwerte zu untersuchen.

Die Baumes­sung für diese Konstruktion ergab  $L'_{n,w} = 37 \text{ dB}$ , siehe auch Abbildung 7 dunkelrote Kurve.

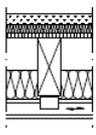
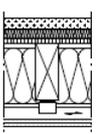
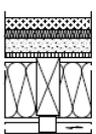
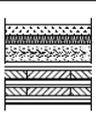
Wie am Beispiel unschwer zu erkennen ist, liegt das bisherige Normverfahren sehr stark auf der sicheren Seite und führt zu einer unwirtschaftlichen und in vielen Fällen überdimensionierten Bemessung.

### 3.5. Bedeutung der tiefen Frequenzen bei der flankierenden Übertragung

Nachdem in den Abschnitten 1 und 2 die Notwendigkeit zur Berücksichtigung tiefer Frequenzen eindringlich dargestellt wurde, ist der Frage nachzugehen, in welchem Maße sich die tieffrequente Übertragung an den Flanken bemerkbar macht. Dazu kann es hilfreich sein Decken, welche im Labor gemessen wurden, das heißt ohne den Einfluss der Flanken, mit baugleichen Decken auf dem Bau zu vergleichen. Damit können erste Betrachtungen zu einem eventuellen Unterschied zwischen  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  und  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  durchgeführt werden. In Tabelle 3 sind die Ergebnisse einer Messserie an 35 Decken der Hochschule Rosenheim aufgeführt, welche [2] entnommen wurden. Dabei wurde sowohl die Prognose mit Messungen verglichen, um deren Güte zu prüfen, als auch die Laborwerte  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  mit «Bauwerten» von  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  verglichen.

Tabelle 3: Überblick über Prognose im Vergleich zu Baumesung gemäß [2]

Vergleich von Baumesungen gegenüber den Decken aus dem Labor und den Prognosewerten nach [6]. Daten aus [7].

Decke	$L_{n,w}$ ( $C_{1,50-2500}$ ) Labor ohne Flanken	$L'_{n,w}$ ( $C_{1,50-2500}$ ) Baumesung	Flankenausbildung	$L'_{n,w}$ ( $L'_{n,w} + U_{prog}$ ) Prognose nach [6] <sup>3</sup>
ZE HBD GK	 46 dB (7) (Aufbau akustisch vergleichbar mit [1] Tab. 25 Zeile 9)	<b>50 dB</b> (4) (8 Messungen / $\sigma = 1,2$ )	Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankung	<b>50 dB</b> (53 dB)
		<b>47 dB</b> (6) (4 Messungen / $\sigma = 0,8$ )	Mindestens 2 Flanken mit Vorsatzschalen	
ZE HBD 2 x GK	 40 dB (11) (Aufbau akustisch vergleichbar mit [1] Tab. 25 Zeile 12)	<b>47 dB</b> (3) (3 Messungen / $\sigma = 1,2$ )	Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankung	<b>47 dB</b> (50 dB)
		<b>44 dB</b> (6) (8 Messungen / $\sigma = 1,2$ )	Mindestens 2 Flanken mit Vorsatzschalen	
ZE BE HBD 2 x GK	 32 dB (14) (Aufbau akustisch vergleichbar mit [1] Tab. 25 Zeile 15)	<b>42 dB</b> <sup>4</sup> (7) (2 Messungen / $\sigma = 1,4$ )	Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankung	<b>42 dB</b> <sup>5</sup> (45 dB)
		<b>39 dB</b> <sup>4</sup> (10) (3 Messungen / $\sigma = 2,3$ )	Mindestens 2 Flanken mit Vorsatzschalen	
ZE BE MHD	 40 dB (9) (Aufbau akustisch vergleichbar mit [1] Tab. 26 Zeile 6)	<b>47 dB</b> (3) (2 Messungen / $\sigma = 2,8$ )	Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankung	<b>44 dB</b> (47 dB)
		<b>45 dB</b> (4) (5 Messungen / $\sigma = 0,9$ )	Flanke durch Elastomer oder Vorsatzschale verbessert	

ZE = Zementestrich  
HBD = Holzbalkendecke  
MHD = Massivholzdecke  
BE = Beschwerung  
GK = Gipskartonbeplankung

<sup>3</sup> Gerechnet mit  $K_1$  für Holztafelbauwand mit Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankungen Zeile 1 Tabelle 3

<sup>4</sup> Am Bau mit Mineralfaser-Trittschallplatte gemessen anstatt mit Holzfasert-Trittschalldämmplatte wie im Labor

<sup>5</sup> Prognose mit Zementestrich auf Holzfasert-Trittschalldämmplatte statt Mineralfaser  
 $\sigma$  = Standardabweichung (Maß für die Schwankung um den angegebenen Mittelwert)

Es wurde auch differenziert, welche Ausbildung der Flanken vorlag. Was die tieffrequente Übertragung angeht wird der Vergleich nochmals in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Vergleich der Normtrittschallpegel inkl.  $C_{1,50-2500}$  zwischen Labor und Bau gemäß Tabelle 3

Position in Tabelle 3	$L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ (Labor)	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ (Bau)	Bemerkung
Zeile 1a und Zeile 1b	53 dB	53 -54 dB	Geringe Abweichung
Zeile 2a und Zeile 2b	51 dB	50 dB	Geringe Abweichung
Zeile 3a und Zeile 3b	46 dB	49 dB	Konstruktion nicht exakt gleich, geringe Anzahl von Messungen
Zeile 4a und Zeile 4b	49 dB	49 – 50 dB	Geringe Abweichung

In Tabelle 4 ist sehr deutlich zu erkennen, dass unabhängig von Vorsatzschale oder Maßnahmen an flankierenden Bauteilen die Werte inkl. des Spektrumanpassungswertes  $C_{1,50-2500}$  zwischen der Labor und der Bausituation wenig voneinander abweichen. Abweichungen können auch der Raumgeometrie geschuldet sein und sind nicht per se auf den Einfluss von Flanken zurückzuführen. Es zeigt sich also, dass mit großer Wahrscheinlichkeit das tieffrequente Übertragungsverhalten der Decke gegenüber dem flankierenden Übertragungsverhalten bei tiefen Frequenzen dominiert. Dies rechtfertigt den Ansatz in [1], bei dem auf die Anwendung von Kennwerten für die tiefen Frequenzen ohne flankierende

Übertragung abgestellt wird. Für die Baustellenmessungen kann ein Sicherheitsaufschlag auf den Summenwert von  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  bei der vertraglichen Vereinbarung von ca. 3 dB sinnvoll sein. Das bedeutet, Decken mit  $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 50$  dB müssen bei der Baumeasurement  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 53$  dB erreichen. Ob die umgekehrte Denkweise also Planungswert reduziert um 3 dB der bessere Weg ist, muss in der Fachwelt diskutiert werden.

## 4. Zusammenfassung und Überblick

Es zeigt sich, dass die Berücksichtigung tiefer Frequenzen bei der Trittschallübertragung im Holzbau zu einer subjektiv wahrnehmbaren Verbesserung der Deckenkonstruktionen führt. Es ist auch anzunehmen, dass die flankierende Übertragung bei tiefen Frequenzen keine derart dominante Rolle spielt, wie dies im Normauswertbereich von 100 Hz bis 3150 Hz der Fall ist. Darüber hinaus lassen sich durch differenzierte Prognosemodelle wirtschaftlichere Holzkonstruktionen realisieren, welche den Schallschutz betreffend, den anderen Bauweisen in nichts nachstehen und diese zum Teil sogar übertreffen. Seit der Veröffentlichung von [1] wurde viele Objekt nach diesen Konstruktionsprinzipien errichtet. Es zeigt sich, dass sich die im Labor ermittelten Grundsätze auch auf den Baustellen ausprägen. Die Wirksamkeit wurde und wird durch Baustellenmessung fortlaufend bestätigt.

### Danksagung

Großer Dank gilt den Organisationen Holzbau Deutschland Institut, Deutscher Holzfertigbau-Verband DHV und Bundesverband deutscher Fertiggbauer BDF sowie der Hochschule Rosenheim für die große Bereitschaft immer wieder Projekte im Bereich des Schallschutzes rund um den Holzbau zu fördern, erforschen und zu finanzieren. Ohne diese Institutionen wäre die Weiterentwicklung des Holzbaus nicht in diesem Maße möglich.

## 5. Literaturverzeichnis

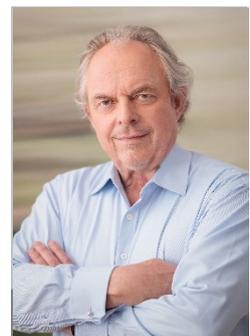
- [1] A. Rabold und A. Blödt, Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung INFORMATIONSDIENST HOLZ, Holzbau Deutschland Institut, 2019.
- [2] A. Blödt, Schallschutz im Holzbau – Differenzierte Flankenbewertung bei der Trittschallübertragung, Berlin: Holzbau Deutschland Institut, 2020.
- [3] Andreas Rabold, Martin Schneider, Heinz-Martin Fischer, Berndt Zeitler, «Neue Berechnungsverfahren zur Trittschallübertragung», Bauphysik, Bd. 42, Nr. Heft 4, p. 13, 2020.
- [4] DIN 4109-2:01-2018 Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen, 2018: Beuth Verlag.
- [5] Holzbau Deutschland, Bund Deutscher Fertiggbauer BDF, Deutscher Holzbau Verband DHV, Untersuchung der Flankenübertragung von Holztafelbauwänden mit Installationsebenen, Verbandsprojekt, 2019.
- [6] DIN 4109-1:01-2018 Schallschutz im Hochbau – Teil 1 Mindestanforderungen, Beuth-Verlag, 2018.

**Block B2**  
**Bauen ohne Grundstück**



# Modulare Aufstockungen im urbanen Raum

Christian A. Czerny  
LiWood AG  
München, Deutschland





# Modulare Aufstockungen im urbanen Raum

## 1. Nachverdichtung als Lösung der Wohnraumproblematik

Bevölkerungswachstum – Ressourcenknappheit – Klimawandel

Diese Themen sind die drängendsten unserer Zeit und stellen die Bauwirtschaft vor große Herausforderungen. Es gilt schnellen Wohnraum zu schaffen und das in Verbindung mit einer nachhaltigen Bauweise.

Steigende wirtschaftliche Attraktivität in Verbindung mit der allgemeinen Lebensqualität bedingt eine Zuwanderung in die deutschen Ballungszentren und steigert die Nachfrage an Wohnraum. Nach Einschätzungen der Politik und der Bauwirtschaft besteht ein jährlicher Bedarf an 350.000 bis 400.000 neuen Wohnungen. Die Konsequenz: steigende Mieten und ein hoher Bedarf an bezahlbarem Wohnraum innerhalb der Stadtgrenzen, der auf Jahre hinaus nicht mehr gedeckt werden kann. Daraus leitet sich eine Zielsetzung der Regierung von 400.000 neuen Wohnungen pro Jahr ab. Dieses Ziel wurde laut statistischem Bundesamt bisher nicht erreicht. Im Jahr 2022 wurden lediglich 295.300 Wohnungen fertiggestellt – immerhin 0,6 % mehr als noch im Vorjahr. Dennoch ergibt sich ein Defizit von über 100.000 Wohnungen, das zum Teil auf einen massiven Flächenmangel, vor allem in den Innenstädten, zurückzuführen ist. Dieser treibt die Baulandpreise in die Höhe – in Stuttgart zwischen 2011 und 2021 bereits um 58%.

Für das Jahr 2020 formulierte die Bundesregierung ein sogenanntes «30-Hektar-Ziel». Das bedeutet, dass bis 2030 nur noch maximal 30 Hektar Land täglich als neue Siedlungs- und Verkehrsflächen in Anspruch genommen werden dürfen. Laut dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz sind es 2021 noch 55 Hektar am Tag. Die Städte und Kommunen stehen also vor der Herausforderung, trotz dieses Ressourcenmangels im Stadtgebiet Wohnraum zu schaffen und den Wohnungssuchenden kosten- und zeiteffizient Wohnungen zur Verfügung zu stellen, ohne neue Wohngebiete ausweisen zu müssen.

In Zusammenarbeit mit Politik, Wohnungsgenossenschaften und Bauträgern müssen alternative Konzepte entwickelt und verwirklicht werden: Bauen im Bestand, Schließen von Baulücken, Überbauung von ineffizient genutzten Flächen wie Bau- und Supermärkten, Busbahnhöfen oder Parkplätzen, Ergänzung bestehender Gebäude mit Anbauten, Umbauten oder Aufstockungen.



Abbildung 1: Die Möglichkeiten einer Nachverdichtung durch Aufstockung, Punkthäuser und Brückenbauten anhand einer fiktiven Siedlung © LiWood

## 1.1. Auf Deutschlands Dächern schlummert Potential für 1,5 Mio. Wohnungen

Eine Möglichkeit der Nachverdichtung, die besonders vom Holzbau profitiert, ist die Aufstockung von Bestandsbauten. Hierfür eignen sich vor allem Wohnsiedlungen der 1950er bis 1970er Jahre, diese bieten laut einer Studie der Universität Darmstadt Potential für etwa 1,5 Millionen Wohnungen. Diese Siedlungen verfügen über offene Baustrukturen und eine geringe Wohnungsdichte. Auch sind viele Zeilen nur zwei bis vier Stockwerke hoch, was eine gute Voraussetzung für eine Aufstockung bietet. Durch die vertikale Ergänzung bestehender Quartiere lassen sich zigtausend Wohnungen innerhalb der Stadtgrenzen schaffen.

## 1.2. Aufstockungen verbinden die Schaffung neuen Wohnraums mit der Aufwertung des Bestands

Ein entscheidender Vorteil besteht in der bereits vorhandenen Infrastruktur und dem Entfall von Anschaffungskosten für das Baugrundstück. Diese machen meist einen nicht unwesentlichen Teil der Gesamtkosten aus. Freie, bebaubare Grundstücke in der Innenstadt sind rar und die hohen Grundstückspreise nicht für den geförderten Wohnungsbau geeignet. Eine Aufstockungsmaßnahme kann zu günstigen Mietpreisen führen und stellt zudem eine qualitative Aufwertung für das gesamte Quartier dar. Die obersten Stockwerke profitieren energetisch von den Aufstockungen, dadurch wird eine Reduktion des Energiebedarfs der bisherigen obersten Nutzungseinheit von bis zu 40% erreicht. Eine Aufstockung hat meistens auch weitere Instandhaltungs- und Modernisierungsarbeiten zur Folge, wie neue Fenster, Nachrüstung von Aufzügen, energetische Sanierungen der Fassaden oder neue Außenanlagen. Diese führen zu einem Gewinn für das gesamte Viertel, da sich auch die Infrastruktur an die neue Bewohnerdichte anpasst, was die Ansiedlung von neuen Geschäften, Praxen und sogar pädagogischen Einrichtungen zur Folge hat.

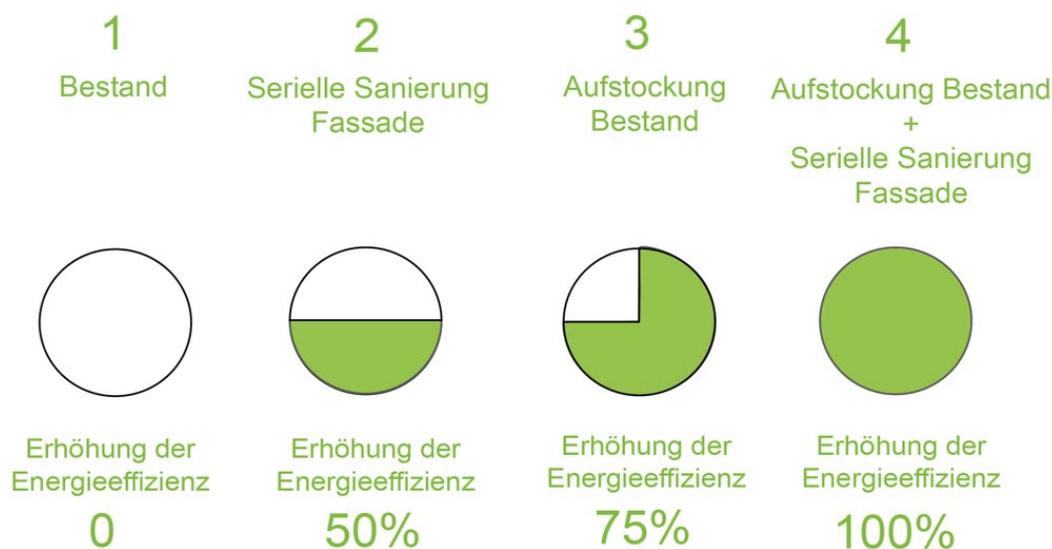


Abbildung 2: Auswirkungen der Maßnahmen auf die Energieeffizienz des Bestands © LiWood

## 2. Holz ist die Antwort

Der Holzmodulbau eignet sich hervorragend für eine Bestandsaufstockung. Er ist flexibel und lässt die unterschiedlichsten Wohnungsformen zu, vom Studierendenapartment bis hin zur 5-Zimmerwohnung. Gegenüber konventionellem Bauen ist ein Bauprojekt im Holzmodulbau besonders leise und sauber, da durch die Vorfertigung und den Baustoff Holz auf Wasser verzichtet werden kann.

Der Holzbau, speziell in modularer Ausführung, ist die große Chance der urbanen Nachverdichtung. Der hohe Vorfertigungsgrad ist hierbei ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Er macht eine schnelle, effiziente und vor allem ruhige Quartierserweiterung möglich. Wichtig – denn das Ziel ist es Wohnraum zu schaffen und den Bewohnern des Bestandes dabei möglichst wenig in den Alltag einzugreifen. Diese bleiben während der gesamten Bauzeit in ihren Wohnungen. Somit ist keine Umsiedlung durch den Bauherrn nötig und es entstehen keine zusätzlichen Kosten.

Ein letzter und entscheidender Vorteil einer Aufstockung in Massivholz ist die Statik. Durch das geringe spezifische Gewicht des Holzes und seiner herausragenden statischen Eigenschaften eignet sich das Produkt zur Aufstockung von Bestandsbauten besonders gut. Aufstockungen in Holzbauweise sind im Vergleich zur konventionellen Aufstockung um über 50% leichter, was ein entsprechend höheres Ausnutzungspotential darstellt.

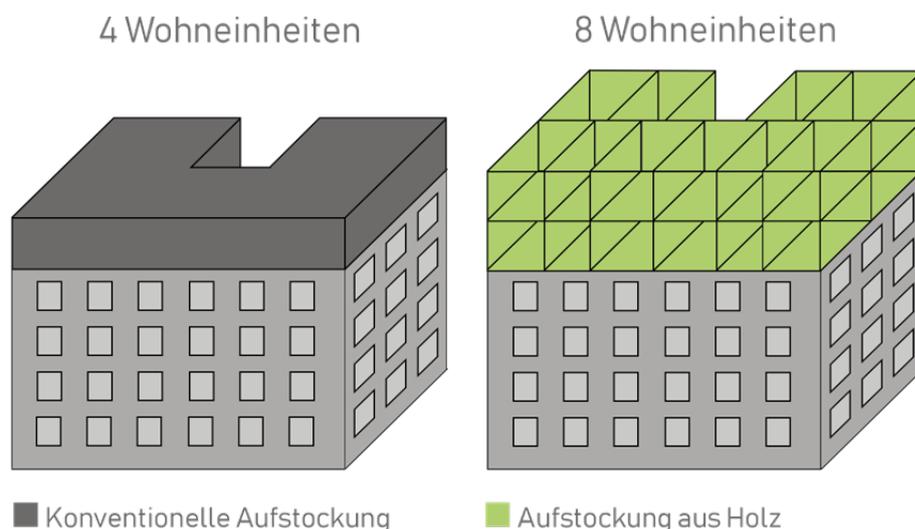


Abbildung 3: Aufstockungspotentiale im direkten Vergleich © LiWood

## 3. Aufstockung am Beispiel der Nachverdichtungsmaßnahme im Quartier Fürstenried West

Das Quartier Fürstenried West entstand in den 1970er Jahren und bietet in ca. 1.500 Mietwohnungen derzeit Platz für 2.700 Bewohner. In diesem Jahr startet die Versorgungskammer Bayern mit der Umsetzung eines großangelegten Nachverdichtungsprojekts, das neben Wohnraumschaffung durch Neu-, Anbau und Aufstockungen auch Maßnahmen zur Mobilität und zur energetischen Sanierung umfasst.



Abbildung 4: Übersichtsplan des Quartiers Fürstenried West, 12 Neubauten (rot), 9 Aufstockungen (blau)  
© Hines Immobilien GmbH

Die Aufstockung der vier X-Bauten mit jeweils zwei neuen Geschossen in Holzmodulbauweise wird durch die Firma LiWood aus München ausgeführt. Das Nachverdichtungskonzept der gesamten Siedlung stammt von Hines Immobilien GmbH. Insgesamt wird das Wohngebiet um 650 Mietwohnungen erweitert. Die Schaffung von zukunftsfähigem und sozialen Wohnen ist die Motivation hinter diesem Projekt. Etwa ein Drittel der neuentstehenden Mietwohnungen werden sozial gefördert. Das übrige Drittel wird zu einem mittleren Preissegment verfügbar sein.

Die vier X-Bauten werden um ein viertes und fünftes Stockwerk erweitert. Durch diese Aufstockung entstehen 30 Wohnungen für etwa 84 Bewohner. Die großzügigen 2-5 Zimmer Wohnungen sind mit großen Balkonen und Terrassen ausgestattet.

Die Wahl des Baustoffes Holz macht durch dessen herausragende statische Eigenschaften mit zugleich geringem spezifischem Gewicht dieses Projekt erst möglich. Eine energetische Sanierung der Fassaden und der Fenster geht mit der Aufstockungsmaßnahme einher und führt zu einem Mehrwert für das ganze Gebäude. Die Aufstockungsarbeiten beginnen im Spätsommer dieses Jahres.

Die zusätzliche Schaffung von neuen Spielplätzen, eines Quartierplatzes mit Supermarkt, einer Quartiers- und Mobilitätszentrale und eines Nachbarschaftstreffe macht die Nachverdichtungsmaßnahme als Gesamtkonzept hochinteressant, effizient und vernünftig.

## 4. Wie läuft eine Aufstockung ab?



Abbildung 5: Ablauf einer Aufstockung in modularer Bauweise mit energetischer Sanierung der Fassade  
© LiWood

Die Firma LiWood hat es sich zur Aufgabe gemacht, den Holzmodulbau stetig weiterzuentwickeln, um so den aktuellen Bauherausforderungen genügen zu können und den Entscheidungsträgern der Städte und Wohnbaugenossenschaften zu nachhaltigen Lösungen ihrer Bauaufgaben zu verhelfen. Die Grundrisse der unterschiedlichen Wohnungen werden aus 45 Modultypen zusammengesetzt. Das Projekt erfordert daher eine wesentlich komplexere Planung und Logistik und hebt den Modulbau auf ein neues Niveau.

Der Abbruch der Bestandsdächer erfolgt im bewohnten Zustand. Die Dächer werden stückweise abgetragen und mit einem Kran direkt in die Mulden verladen, diese Vorgehensweise ist besonders lärmarm. Daraufhin wird der freigelegte Bestand durch Abdichtungsmaßnahmen geschützt. Durch die Herstellung eines Ringankers als Zwischengeschoss auf dem Bestand, werden nicht nur ideale Bedingungen zum Aufsetzen der Module geschaffen, er erlaubt auch eine Erschließung völlig unabhängig vom Bestand. Sogar die Ausführung der Treppenhäuser in Holzmassivbauweise ist möglich und vermeidet hohe Punktlasten gegenüber Stahlbetontreppenhäusern.

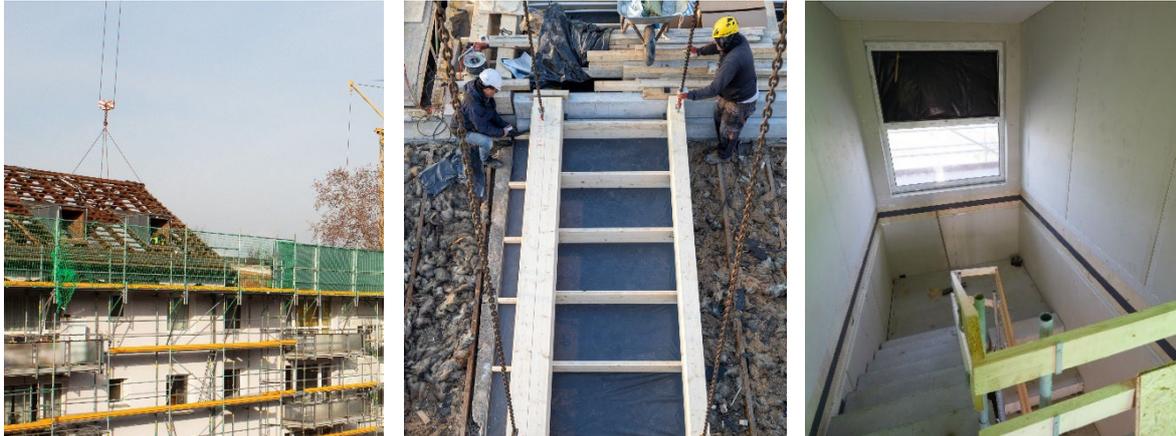


Abbildung 6, 7, 8: (links) Abriss der Bestandsdächer, (Mitte) Platzierung der Module auf dem Ringanker (rechts) Treppenhaus in Holzmassivbauweise © LiWood; ©skykamera

Auch die Fertigbäder werden aus Massivholz bestehen – ein wesentlicher Faktor für die Nachhaltigkeit. Die Badmodule werden bereits mit allen Installationen und komplett fertiggestellter Innenausstattung als «Modul im Modul» montiert. Auf dem Hochbau werden sie anschließend innerhalb weniger Minuten zusammengeslossen. Die Vorfertigung des Bades bringt eine völlig neue Effizienz in die Bauabläufe des mehrgeschossigen Holzbaus.

Das Badmodul ist jedoch noch viel mehr als nur ein Bad: Es wird als technische Gesamteinheit konzipiert und ist so die Technikzentrale jeder Wohn- bzw. Nutzungseinheit. Die Bäder werden für jedes Bauvorhaben individuell geplant und seriell gefertigt. Dabei besteht selbstverständlich auch die Möglichkeit, barrierefreie und rollstuhlgerechte Bäder nach Wunsch entsprechend zu realisieren.

Die Konzeption gewährleistet eine optimale Revisionierbarkeit der Installationen. Jedes Bad ist mit einer Wohnungsstation ausgestattet. Diese liefert das benötigte Warmwasser für das Bad, Küche etc. sowie die Energie für das Beheizen der gesamten Wohnung. Die benötigten Anschlüsse der Küche sind bereits in der Rückwand des Bades enthalten. Die Badmodule beinhalten zudem die Elektrounterverteilung. Die Bäder werden im Gebäude übereinander positioniert, um einen durchgängigen Steigschacht für die Medien und Installationen zu generieren.

#### 4.1. Die Feldfabrik als Kernstück des LiWood-Konzeptes

Die LiWood-eigene Feldfabrik, eine elementierte Halle aus Brettsper Holz konstruiert, stellt ein wesentliches Alleinstellungsmerkmal von LiWood dar.



Abbildung 9: Die Feldfabrik – eine mobile Montagehalle aus massivem Holz ©skykamera

In dieser mobilen Montagehalle werden die vorgefertigten Bauteile wie Decken, Wände, Böden und Bäder angeliefert und auf einem Schienensystem zum Modul komplettiert. LiWood erstellt für jedes Projekt die individuellen Konstruktions- und Werkpläne. Danach werden Bauteile teils eigenproduziert und teils von möglichst regionalen, baustellennahen Betrieben und Zulieferern gefertigt. Das Kreuzlagenholz für Wände, Decken und die

eigenproduzierten Fertigbäder stammt aus Deutschland und Österreich und darüber hinaus aus nachhaltiger Forstwirtschaft. Etwa 5 Module verlassen die Halle täglich. Das bedeutet, dass mit einer einzigen Montagelinie über 100 m<sup>2</sup> Wohnraum produziert werden. Die Montagelinie lässt sich entsprechend der Bauaufgabe individuell anpassen. Die Feldfabrik lässt sich innerhalb weniger Wochen auf geeigneten Untergrund aufstellen. Für die Montage der Bauteile wird ein eigens für die Feldfabrik konzipierter Hallenkran mit mehreren Brücken eingesetzt.

Das Konzept der Feldfabrik unterstreicht den Nachhaltigkeitsgedanken, unter den LiWood seine Arbeit stellt. Nicht nur die Wahl der Materialien folgt diesem, sondern auch die Logistik. Das «just-in-time» Prinzip und die damit verbundene «lean production» – als eine schlanke Produktion – erfordern eine präzise Vorplanung des gesamten Projekts. Durch die Montage vor Ort kann der Transport der Module von einer stationären Fabrik auf die Baustellen in ganz Deutschland und auch in das europäische Ausland vermieden werden. Somit werden viele LKW-Fahrten gespart oder auf ein Minimum beschränkt, da ein Transport mit kompakter Beladung der vorgefertigten Elemente effizient ist. Der CO<sub>2</sub> Ausstoß wird durch die gesparten Fahrten gesenkt und externe Kosten reduziert (ein LKW belastet die Straße 10.000-mal mehr als ein PKW).



Abbildung 10: Modulmontage in der Feldfabrik ©LiWood

Auf dem Hochbau kann währenddessen parallel an mehreren Bauten gearbeitet werden. Damit verkürzt sich die Projektzeit drastisch. Die gesamte Bauphase der 4 Häuser in der Fürstenried umfasst nur 12 Monate. Die bestehenden Dächer werden rückgebaut und im Rahmen der Aufstockung als Flachdach ausgeführt. Das Setzen der Module nimmt pro Haus etwa zwei Wochen in Anspruch – ein verschwindend kleiner Teil der Gesamtbauphase. Während in einem Haus der Innenausbau und die Fassadenarbeiten stattfinden, werden im nächsten Haus die nächsten Module gesetzt, während in einem Dritten erneut das Dach für die Aufstockung abgetragen wird.



Abbildung 11: Versetzen eines Moduls am Hochbau am Beispiel der Fritz-Kissel-Siedlung Frankfurt ©skykamera

## **5. Nachverdichtung – nicht nur die Lösung für den Wohnungsbau**

Die Montessorischule in München Neuperlach ist ein Paradebeispiel für innerstädtische Nachverdichtung. Sie vereint das Potential des Standortes direkt an der Münchner U-Bahnstation «Quiddestraße» mit den Ansprüchen der modernen Montessoripädagogik. Über einer langbestehenden Tiefgarage errichtet ist das Schulgebäude an der Albert-Schweitzer-Straße aufgeständert; die Zufahrt zur Tiefgarage wurde überbaut und beherbergt in diesem Bereich Klassenzimmer auf zwei Stockwerken. Die Überbauung dieser Tiefgarage konnte nur durch den Einsatz des Baustoffes Holz mit seinem geringen Gewicht und gleichzeitig hervorragenden statischen Eigenschaften umgesetzt werden.

Durch den Holzbau im urbanen Kontext können unsere Städte zu riesigen Kohlenstoffspeichern werden, da Holz signifikant mehr Kohlenstoff speichert als bei der Verarbeitung emittiert wird. Gleichzeitig wird der Verbrauch endlicher Rohstoffe durch die Substitution konventioneller Baustoffe reduziert. Deswegen ist Bauen mit Holz hochökologisch.

# Parkplatzüberbauung am Dantebad in München

Josef Huber  
Huber & Sohn GmbH & Co. KG  
Bachmehring, Deutschland





# Überbauung am Dantebad in München

Auch in den kommenden Jahren werden attraktive Ballungsregionen wie München, Stuttgart, Frankfurt oder Berlin ein zum Teil starkes Bevölkerungswachstum aufweisen.

Alleine in München rechnet man mit einem Zuwachs bis zum Jahr 2040 um etwa 200.000 Neubürgern. Da auch die Bevölkerung tendenziell älter wird, steigt alleine schon aufgrund der Notwendigkeit von mehr barrierefreien – bzw. behindertengerechten Wohnungen der Platzbedarf zusätzlich.

Die Schaffung von zusätzlichem Wohnraum gerade in den Ballungsräumen ist daher dringend notwendig.

Dem gegenüber stehen klimapolitische Ziele, die eine zusätzliche Versiegelung kritisch betrachten. Flächen für Neubauten sind in den Ballungsräumen knapp. Die vorhandenen Freiflächen haben eine hohe Bedeutung für das Binnenklima in der Stadt, z. B. als dringend erforderliche Frischluftschneisen. Dazu dienen die Freiflächen den Stadtbewohnern als Begegnungsorte für Naherholung und Freizeit.

## 1. Bauen ohne zusätzliche Versiegelungen

Die Nutzung bereits versiegelter Flächen für neuen Wohnraum ist daher dringend geboten. Ein großes Potential ist die Aufstockung von bereits vorhandenen Gebäuden – hier sind jeweils die Rahmenbedingungen wie mögliche Abstandsflächen sowie die Tragfähigkeit der vorhandenen Gebäudesubstanz oftmals Gründe, die eine geplante Wohnraumerweiterung verhindern.

Eine weitere Möglichkeit bereits versiegelte Flächen innerorts für Wohnbebauung zu nutzen, ist die Überbauung von Parkflächen.

### 1.1. Fragen rund um das Bauen über Parkplätzen

Die Idee bei der Parkplatzüberbauung ist bestechend – die vorhandenen Parkflächen sollen erhalten bleiben, da auch künftig in den Ballungsräumen ein Teil der Mobilität mit dem PKW erfolgen wird. Über den Parkplätzen entstehen neue Wohnungen in Verbindung mit Mobilitätskonzepten, die eine Verminderung der geforderten Stellplätze je Wohnung möglich machen.

Zunächst gilt es mögliche Parkflächen zu identifizieren – vor Einrichtungen wie Sporthallen oder Schwimmbädern, Schulen und Kindergärten sowie Bahnhöfen. Meist befinden sich diese Parkplätze im Eigentum der öffentlichen Hand.

Im Zuge einer Überbauung öffentlicher Parkplätze sind Fragen der Zuständigkeit (Eigentümer des Grundstückes = Bauherr?) und der Haftung (öffentlicher Parkplatz unter Wohnungen, wer haftet für was?) zu klären. Weitere Fragen sind oftmals Themen wie Schallschutz – gerade bei Parkplätzen vor Super- und Einkaufsmärkten, deren Anlieferung oft in den frühen Morgenstunden, und damit baurechtlich nachts, erfolgen.

## 2. Wohnen am Dantebad I - Das Pilotprojekt

(Architektur: Florian Nagler Architekten, München; Generalunternehmer: B&O Bau Bayern GmbH; Bauherr: GEWOFAG, München; Holzbau: Huber & Sohn GmbH & Co. KG)

Mit dem Wohnungsprogramm Wohnen für Alle der Stadt München sollten von 2016 – 2019 innerhalb kürzester Zeit 3000 neue und bezahlbare Wohnungen entstehen.

Für eine mögliche Überbauung eines Parkplatzes wurde die städtische Parkfläche am Dantebad zwischen Sportplatz und Freibad gelegen, identifiziert.

Beauftragt mit der Durchführung des Projektes wurde die städtische Wohnungsbaugesellschaft GEWOFAG, nach der grundsätzlichen Klärung des Baurechts erfolgte im März 2016 die Ausschreibung als Generalübernehmerleistung, mit einem Zuschlag an B&O Bau Bayern im Mai 2016.

## 2.1. Planung und Konstruktion

Um die vorhandenen Parkplätze im Wesentlichen erhalten zu können, wurde die Wohnbebauung als 4-geschossige Holzkonstruktion auf einem Stahlbetontisch mit Unterzügen und Stützen geplant. Das Stützenraster für den Stahlbeton wurde auf 9,50 m festgelegt, um so gut wie keine Parkplätze zu verlieren.

Nur die beiden Treppenhäuser sowie die Kopfbauten, in denen Technik-, Lager- und Müllräume untergebracht sind, berühren den Grund. Der 4-geschossige Holzbau besteht aus tragenden Massivholz-Innenwänden, die auch als Wohnungstrennwände ausgebildet werden, sowie darüber quer gespannte Brettspertholzdecken. Die Außenwände sind als hochwärmedämmende Holzrahmenwandkonstruktionen konzipiert und übernehmen aussteifende Funktionen sowie die Lastabtragung der Stahlbeton-Laubengänge. Ab dem Stahlbetontisch über der Parkfläche wurden auch die Treppenhäuser und die Aufzugschächte in Holz geplant und ausgeführt, dies bedeutet eine Vereinfachung des Bauablaufes aufgrund der entfallenen Schnittstelle zum Stahlbetonbau.

Bei einer Gebäudelänge von 112 Metern und einer Breite von 11,40 Metern wurden 14 Zweizimmer- und 86 Einzimmerwohnungen errichtet – insbesondere für berechnete Haushalte niedriger Einkommensstufen sowie anerkannter Flüchtlinge, die ansonsten auf dem hochpreisigen Münchner Wohnungsmarkt kaum Chancen für bezahlbaren Wohnraum haben.

In den Kopfbauten sind Gemeinschaftsräume, Waschräume mit Café sowie auf der Dachterrasse Spielflächen sowie die Möglichkeit, Gemüse- und Kräuterbeete anzulegen, berücksichtigt worden.



Abbildung 1: Parkplatz zwischen Freibad und Sportplatz

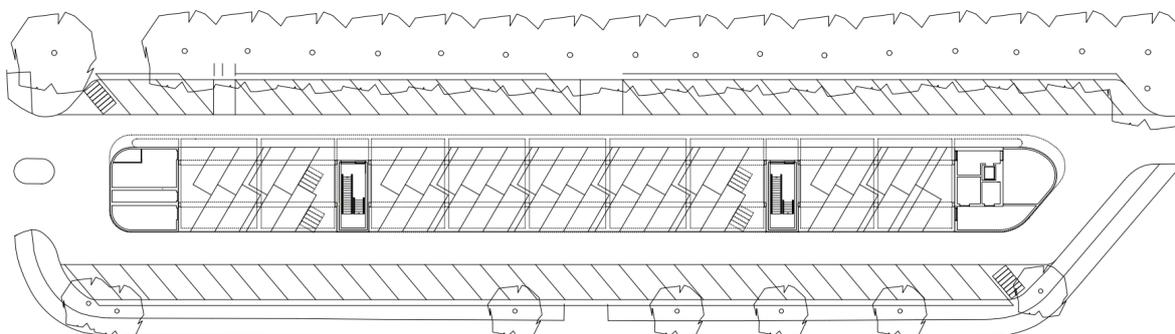


Abbildung 2: Parkplatzanordnung neben und unter der Überbauung

## 2.2. Serielles Bauen

Durch die klare Rasterung in der Planung konnten sowohl der Holzbau wie auch die Bäder mit einem hohen Vorfertigungsgrad rationell und effektiv geplant, produziert und montiert werden. Eine enge Taktung des Bauablaufes in Abstimmung mit der Holzbau- und Badproduktion ermöglichte eine extrem kurze Bauzeit.

Mitte September 2016 begann die Montage der Holzelemente – während am anderen Ende der Stahlbetontisch noch fertiggestellt wurde.

Bereits Mitte November war die Elementmontage abgeschlossen und im Januar 2017 erfolgte die Abnahme der Wohnungen durch den Bauherrn.



Abbildung 3: Dante I – Südostansicht

### 3. Wohnen am Dantebad II – Das Folgeprojekt

(Architektur: Florian Nagler Architekten, München; Bauherr: GEWOFAG, München; Generalunternehmer: ARGE B&O und Huber & Sohn;)

Aufgrund der positiven Erfahrungen wurde bei der Stadt München der städtischen Wohnungsbaugesellschaft GEWOFAG als Folgeprojekt – ebenfalls am Dantebad gelegen – angegangen. Zwischen dem Freibad und dem Dantestadion befindet sich ein weiterer öffentlicher Parkplatz, der sich für eine Überbauung bestens eignete.

Im Genehmigungsprozess waren Fragen des Schallschutzes aufgrund regelmäßig stattfindender Sportveranstaltungen im Dantestadion zu klären.

Im Jahr 2019 begannen die Planungen für die Überbauung dieses Parkplatzes. Es sollten dabei vor allem größere Wohnungen für Familien geschaffen werden, im Ergebnis sind dies 144 Wohnungen, davon 90 Drei- bis Fünfstückerwohnungen in einer 4-seitigen Karreebebauung mit einem begrünten Parkplatz im Innenhof.

Die Wohnungen werden in den geförderten Modellen EOF (Einkommensorientierte Förderung) und MMM (München-Modell-Miete) vermietet. Auch hier sind die ausgebauten Flächen im Erdgeschoß auf ein Minimum reduziert – neben den Parkplätzen unter dem Stahlbetontisch befinden sich Kellerersatz-, Technik- und Müllräume sowie die Treppenhäuser mit Aufzügen an den 4 Seiten des Karrees.

Nachdem Altlasten auf dem vorhandenen Parkplatz entsorgt waren, starten im Juli 2020 die Bauarbeiten für den Stahlbetontisch.

Die Holzbaumontage benötigte 3 Monate von November 2020 bis etwa Februar 2021.

Die ARGE B&O / Huber & Sohn konnte die 144 Wohnungen, schlüsselfertig ausgebaut, im Oktober 2021 übergeben.

Die kurze Bauzeit ist ein Ergebnis von Teamarbeit in der Planung, serieller Vorproduktion von Holzbauteilen und Fertigbädern und dem angewandten Lean-Management-Prozess auf der Baustelle, insbesondere für die Ausbauarbeiten.



Abbildung 4: Vorproduktion der Wände – mit Fenstern und Fassade



Abbildung 5: Dante II – Montage mit 2 stationären Kränen

## 4. Ressourcenschonenden Bauen

Durch die doppelte Nutzung der Baufläche – als öffentlichen Parkplatz wie bisher und als attraktives Wohnquartier, wurde eine bereits vorhandene versiegelte Fläche ressourcenschonend genutzt.

Durch die Verwendung des nachwachsenden Rohstoffes Holz für die komplett tragende Konstruktion oberhalb des Stahlbetontisches (mit Ausnahme der Laubengänge) konnte zum einen der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bei diesem Gebäude deutlich reduziert werden, zum anderen ist – bei 2.500 m<sup>3</sup> verbaute Holz – eine entsprechende Menge CO<sub>2</sub> dauerhaft im Gebäude gespeichert.

Die dafür benötigte Menge an Rundholz wächst im Übrigen in Bayern in 70 Minuten nach.



Abbildung 6: serielles Bauen mit klarem Raster und Fertigbädern



Abbildung 7: Dante II – 144 Wohnungen in 15 Monaten Bauzeit

## 5. Ganzheitliche Betrachtung der Kosten

Gerade in Ballungsräumen sind nicht bebaute Grundstücke eine Seltenheit und daher meist sehr teuer.

Beim Bauen über Parkplätzen ist zu berücksichtigen, dass der Betontisch relativ aufwendig und daher die reinen Baukosten etwas höher als bei einem vergleichbaren Projekt auf grüner Wiese, ohne Keller und ohne Tiefgarage liegen.

Bei einer ganzheitlichen Betrachtung ist jedoch das Grundstück miteinzubeziehen – gerade unbebaute Grundstücke in Ballungsräumen sind hochpreisig, bei einer Nutzung bereits genutzter Grundstücke für eine zusätzliche Wohnbebauung ergibt sich eine deutliche Reduzierung der Gesamtkosten eines derartigen Projektes.

Vor dem Hintergrund der Materialpreis- und zu erwartenden Lohnkostensteigerungen beim Bauen kann sowohl das Bauen über Parkplätzen wie auch das Aufstocken von vorhanden Gebäuden einen erheblichen Beitrag zu leistbarem Wohnraum bringen.



# **Immobilienwirtschaft und Holzbau**



# **Holzwohnbau-Studie: Großvolumiger Wohnungsbau in Holzbauweise – Kosten / Kostenvergleich D-A-CH**

Ludger Dederich  
Hochschule Rottenburg  
Rottenburg/Neckar, Deutschland

zusammen mit  
Holger Wolpensinger, HS Rottenburg  
Stephan Klein, HS Rottenburg





# Holzwohnbau-Studie: Großvolumiger Wohnungsbau in Holzbauweise – Kosten / Kostenvergleich D-A-CH

## 1. Einleitung

In den europäischen Ballungszentren mangelt es an Wohnraum, allein deutschlandweit fehlen etwa 1,5 Millionen Wohneinheiten (WE). Aus diesem Grund hat die Bundesregierung als Ziel formuliert, landesweit jährlich 400.000 WE zu errichten. Gleichzeitig sieht der Klimaschutzplan der Ampelregierung einen deutlichen Rückgang der Gebäudeemissionen von 209 auf 67 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten bis 2030 vor, was einer Emissionsminderung von 68 % seit 1990 entsprechen würde. Auch andere europäische Länder haben sich verpflichtet, weitreichende Klimaschutzziele umzusetzen. Vor diesem Hintergrund setzen viele der am Bau Beteiligten neben dem energieeffizienten Bauen und dem Einsatz erneuerbarer Energien zunehmend auf den nachwachsenden Baustoff Holz.

Weltweit existieren mittlerweile zahlreiche Hochhäuser in Holzbauweise, die mit zum Teil deutlich mehr als 10 Geschossen das technische Potenzial dieses Baustoffs aufzeigen. Als Beispiel sei auf den 18-geschossigen «Mjøstårnet» im norwegischen Brumunddal verwiesen, der in Holz-Skelettbauweise als Multifunktionsgebäude mit Hotelbetrieb und Büros realisiert wurde und mit Blick auf den Brandschutz den geltenden Sicherheitsanforderungen entspricht.

Doch wie ist es mit Blick auf die Ambition der Politik jenseits der Leuchtturmprojekte um die Erstellung und Verdichtung ganzer Wohnsiedlungen mit mindestens 100 WE bestellt? Neben rechtlichen und technischen Fragestellungen zur Tragwerksplanung, zum Brand- und Schallschutz stellt sich bei diesen großvolumigen Projekten zudem die Frage nach Erfahrungen hinsichtlich der Erstellungskosten.

Ist die Entwicklung eines Wohnquartiers in Holzbauweise oder die Nachverdichtung bestehender Strukturen tatsächlich teurer als eine konventionelle Ausführung in mineralischer Bauweise? Und welche weiteren, nicht unbedingt auf den ersten Blick identifizierbaren Argumente gibt es zudem für kommunale oder private Akteure der Wohnungswirtschaft, Wohnraum in Holzbauweise zu realisieren und bereitzustellen? Diesen Fragen geht seit Anfang 2021 die *Baukosten-Studie zu großen Holzbausiedlungen und -quartieren in Europa* (kurz *Holzwohnbau-Studie*) nach, die im Zuge des Förderprogramms *Zukunft Bau* aus Mitteln des Bundesbauministeriums finanziert wird. Im Rahmen der Studie wird vor allem untersucht, wie Holzbauweisen im Segment der Wohnsiedlungen und Stadtquartiere weiter etabliert werden können, um das Angebot von großvolumigen Wohnungsbauprojekten um eine umwelt- und klimafreundliche Variante im Sinne der notwendigen Bauwende zu erweitern. Deshalb werden zusätzlich zur Erfassung der Erstellungskosten bereits realisierter Siedlungs- und Quartiersprojekte in Holz- und Holzhybridbauweise systematisch die Beweggründe der Bauherren bzw. Investoren erfasst und ausgewertet.

Umfangreiche Recherchen zum Stand der Forschung haben gezeigt, dass bis dato keine wissenschaftlichen Studien, über die zu Siedlungen und Stadtquartieren in Holzbauweise aufgeworfenen Fragestellungen existieren. Die Klärung dieser Fragen hat definitiv an Relevanz gewonnen, da die Recherchearbeit deutlich zeigt, dass insbesondere die Verantwortlichen kommunaler Wohnungsbauunternehmen verstärkt auf Holzbauweisen zur Bewältigung der Wohnraumnachfrage setzen und entsprechende Vorhaben umsetzen wollen – und zuweilen auf Grund politischer Entscheidungen in den Städten und Gemeinden auch umsetzen müssen.

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse sind insofern vorläufig, als dass die Studie erst Ende 2022 fertiggestellt wird.

## 2. Projektrecherche und Dokumentation großvolumiger Projekte in Deutschland und Europa

Die Untersuchung war ursprünglich auf die Evaluierung von etwas mehr als 30 Wohnsiedlungen und Stadtquartiere in Holz- und Holzhybridbauweise mit mindestens 100 Wohneinheiten ausgelegt, die zusammen 7.144 WE umfassen (davon 16 Vorhaben in Deutschland mit 3.862 WE). Aufgrund systematischer und weitergehender Recherchen im europäischen Raum, die im Vorfeld der Studie in dieser Intensität nicht möglich waren, konnten bislang etwas mehr als 80 weitere Wohnsiedlungen und Stadtquartiere in Holz- und Holzhybridbauweise in Europa identifiziert werden, davon 31 weitere Projekte in Deutschland. Zu Beginn der Forschungsarbeit war dieses Volumen nicht absehbar, weil davon ausgegangen wurde, im Zuge der Vorrecherchen bereits den überwiegenden Teil der wesentlichen realisierten bzw. in Planung befindlichen Projekte erfasst zu haben.

Aktuell sind 118 Wohnsiedlungen und Stadtquartiere in Holzbauweise mit mehr als 100 Wohneinheiten in Europa erfasst, von denen 83 Projekte bis 2022 fertiggestellt sind. 76 Projekte befinden sich in der D-A-CH-Region (D = Deutschland; A = Österreich; CH = Schweiz), 19 Projekte im skandinavischen Raum sowie 23 Projekte in anderen europäischen Ländern (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Regionale Verteilung der recherchierten Wohnsiedlungen und Stadtquartiere in Holz- und Holzhybridbauweise mit mehr als 100 Wohneinheiten

	<b>Projektanzahl</b>	<b>Wohn- bzw. Nutzungseinheiten</b>
<b>D A CH</b>	76	25.141
<b>Skandinavien</b> (DK, FI, S, N)	19	7.242
<b>Sonstige</b> (I, F, GB, NL, LV,)	23	6.822
<b>Summe</b>	<b>118</b>	<b>39.205</b>

Abbildung 1 zeigt die identifizierten Projekte und Quartiere, differenziert nach ihrer Größe (Anzahl WE) und dem Jahr der Fertigstellung. Im Rahmen von Projektrecherche und Dokumentation wurde für die bislang realisierten Projekte in Deutschland jeweils ein Steckbrief angelegt, der im Rahmen eines Abschlussberichts Ende 2022 veröffentlicht wird.

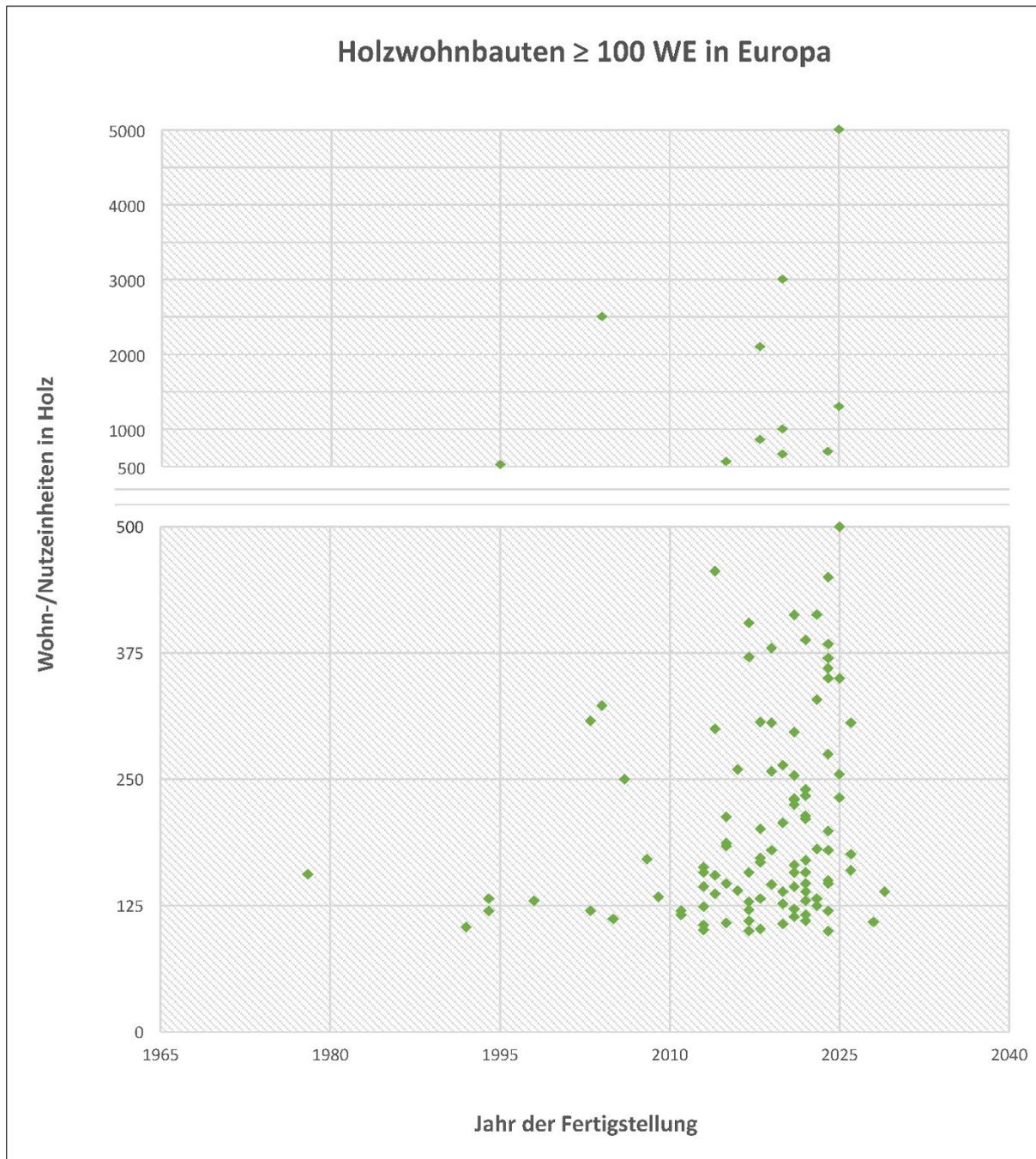


Abbildung 1: Datenwolke der untersuchten Projekte und Quartiere, differenziert nach Größe (Anzahl WE) und Jahr der Fertigstellung

Veröffentlicht sind die recherchierten und systematisch untersuchten Holzbauprojekte zudem auf einer eigenen Webseite des Forschungsvorhabens unter [www.holzwohnbau.eu](http://www.holzwohnbau.eu). Darüber hinaus ist für Ende 2022 eine Publikation in der Schriftenreihe des Informationsdienstes Holz geplant, in der die Studienergebnisse für die Fachöffentlichkeit aufbereitet werden.



Abbildung 2: Beispiel für großvolumigen Holzwohnbau: Holzbausiedlung im Prinz-Eugen-Park, München (Foto: Johann Hartl)

## 2.1. Methodischer Ansatz

Im Fokus der Untersuchung standen Projekte mit überwiegender Wohnnutzung, also solche, bei denen die Nutzfläche zu mindestens 60% für Wohnzwecke genutzt wird. Als Sonderformen des Wohnungsbaus wurden Beispiele für studentisches Wohnen und Hotels berücksichtigt. Dabei handelt es sich um Nutzungen, die der Wohnnutzung ähnlich sind, unabhängig davon, dass für diese abweichende ordnungsrechtliche Voraussetzungen gelten (hier für Beherbergungstätigkeiten). Reine Büro-, Gewerbe- oder Industriebauten wurden in der Arbeit grundsätzlich nicht betrachtet.

### Unterscheidung Quartiere, Siedlungen, Gebäude

Die ursprüngliche typologische Klassifizierung der Quartiere und Siedlungen wurde zusätzlich um (Einzel-)Gebäude erweitert. Entsprechend dieser Klassifizierung entfallen 61 der bislang 118 zu untersuchenden Projekte auf Wohnsiedlungen (47 realisierte), zu denen 22 urbane, i.d.R. nutzungsgemischte Quartiere (10 realisierte) kommen sowie 35 große Einzelgebäude (24 realisierte), die jeweils mehr als 100 WE umfassen.

### Große Wohnungsbauprojekte / Vorhaben mit mehreren Bauabschnitten

Eine besondere Herausforderung stellte die Handhabung großer Quartiere oder Siedlungen dar, da diese häufig mehrere Teilvorhaben umfassen. Dies ist bspw. bei den Vorhaben *Mühlweg* in Wien oder *Prinz Eugen-Park* in München der Fall.

Großprojekte dieser Art zeichnen sich dadurch aus, dass für diese städtebaulich jeweils nur ein Plangebiet ausgewiesen wurde, welches in baulich und gestalterisch unterschiedliche Teilflächen aufteilt, ist. Um diese Großprojekte adäquat zu erfassen, wurden sie entsprechend ihrer einzelnen Bauabschnitte in einem gemeinsamen Steckbrief zusammengefasst dargestellt und teilweise mit Fotogalerien dokumentiert.

Die Erfassung der Baukosten der großen Quartiere bzw. Siedlungen mit mehreren Bauabschnitten erfolgte in zwei Schritten: Zuerst wurden die Baukosten der einzelnen Bauabschnitte ermittelt, um dann einen Durchschnittswert für das Gesamtvorhaben ermitteln zu können.

## 2.2. Zeitliche Zuordnung der Projekte

Insgesamt wurden die Siedlungen und Stadtquartiere für die Bearbeitung drei Kategorien in Bezug auf die Umsetzungszeiträume zugeordnet:

- die Kernprojekte, die zwischen 2010 und 2022 fertiggestellt wurden oder werden,
- die Pionierprojekte, die vor bzw. bis 2009 realisiert wurden, und
- die Projekte in Planung und Umsetzung, die erst nach 2022 fertiggestellt werden.

Für alle Projekte wurden Umfang, Geschosshöhe, Holzbauweise sowie weitere Daten erfasst. Auf diese Weise wurde über den gesamten betrachteten Zeitraum hinweg die holzbauspezifische technische Entwicklung dokumentiert und die Projekte entsprechend klassifiziert. Eine umfassende Recherche der Baukosten mit Verifizierung und Jahres- und Regionalfaktoren erfolgte jedoch ausschließlich für die Kernprojekte. Für die Projekte in Planung und Umsetzung liegen naturgemäß die notwendigen Daten noch nicht verlässlich vor, für die Pionierprojekte vor 2010 konnten die Angaben für die aktuelle Fragestellung nicht mehr hinzugezogen werden, da sich seitdem einerseits der Wohnungsmarkt deutlich verändert hat, andererseits die Holzbautechnologie intensiv weiterentwickelt wurde.

Aufgrund der Kategorisierung lassen sich weitere forschungsleitende Fragen ableiten. So geht der EU-Ländervergleich der Frage nach, wo sich die Projekte befinden. Gibt es nennenswerte Unterschiede? Gibt es eine Häufung der Projekte in einzelnen Ländern oder Länderregionen (D-A-CH? Skandinavien)? Welche unterschiedlichen Voraussetzungen sind in diesem Zusammenhang relevant (Baukultur? Bauordnungsrecht)?

Eine Größenanalyse geht der Frage nach, wie sich die Projekte hinsichtlich ihrer Volumina im Dekadenvergleich entwickelt haben, und welche Projekte welcher Größe und in welchen Phasen entstanden sind.

Eine Akteursanalyse widmet sich der Frage, ob es unter den etwa 100 Kontakten zu Projektbeteiligten (Investition, Projektentwicklung, Architektur, Holzbauplanung usw.) solche gibt, die mehrfach an Projekten beteiligt sind. Eine weitere Frage widmet sich der Gestaltung von Finanzierung und / oder Förderung der einzelnen Bauvorhaben.

## 3. Kosten der Herstellung

In den Vorrecherchen zu dieser Studie zeigte sich, dass die Baukosten in (Fach-) Veröffentlichungen häufig wenig präzise benannt werden. Selten sind Angaben dahingehend, welche Baukosten genau gemeint sind. Ob es sich also um die Netto- oder Bruttoangaben handelt, welche Kostengruppen berücksichtigt wurden, oder ob es die Bruttowohn-, Nettowohn- oder Nutzflächen sind, auf die sich die Kostenangaben beziehen, wurde und wird oft nur unzureichend dargestellt.

Bei Recherchen zum Stand der Forschung konnten aktuelle Studien hinzugezogen werden, die die Baukosten vergleichbarer Gebäudetypen unterschiedlicher Materialität (Holzbauweise im Vergleich zu mineralischen Bauweisen) miteinander vergleichen. So stellt eine Studie der Firma Rhomberg Bau einen Unterschied der Erstellungskosten von 0,6 % zwischen Holz- und mineralischer Bauweise fest. Ein weiteres Vorhaben, das diesem Vergleich dienen könnte, ist die das Vorhaben *Johannisgärten* in Berlin, deren Ergebnisse bisher nicht öffentlich zugänglich sind. Dort wurden baugleiche Gebäude in verschiedenen Bauweisen errichtet. Von insgesamt 314 WE wurden 114 WE in Holzhybridbauweise realisiert, die übrigen in mineralischer Bauweise.



Abbildung 3: Beispiel für großvolumigen Holzhybridbau: Studierendenwohnanlage «Siepenfeld», Bochum (Foto: Sigurd Steinprinz)

Im Vordergrund der Kostenanalyse standen die Erstellungskosten der Vorhaben in D, die zwischen 2010 und 2022 realisiert wurden. Dabei wurden – sofern diese Angaben ermittelt werden konnten – jene zu den Kostengruppen (KG) 300 und 400 erfasst, bezogen auf die Brutto- und Nettogeschossfläche (in Euro/m<sup>2</sup>).

Untersucht wurde weiterhin, ob Fördergelder eine Rolle gespielt haben, ob Unterschiede aufgrund der verschiedenen angewandten Holzbauweisen festzustellen waren, oder ob es bestimmte Bauweisen gibt, die sich als besonders kostengünstig bzw. preiswert eignen. In Anknüpfung an bestehende Studien (z.B. der Firma Rhomberg Bau) wurden zudem die Baukosten von Siedlungen und Quartieren in Holzbauweise mit mineralischen Projekten eines vergleichbaren Baustandards verglichen.

Die bislang durchgeführte Datenerhebung erbrachte keinen Hinweis darauf, dass für Bauvorhaben in Holzbauweise generell Mehrkosten von 10 bis 15 % gegenüber mineralisch errichteten Gebäuden anzusetzen sind. Da die Analyse der Projektkosten (KG 300 und 400) zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Beitrags noch nicht abgeschlossen war, sei an dieser Stelle auf den Abschlussbericht verwiesen, der Ende 2022 auf der Homepage des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) unter der Rubrik «Veröffentlichungen» erscheinen wird (siehe [www.zukunftbau.de](http://www.zukunftbau.de)).

#### **4. Motive für die Nutzung von Holz als wesentlichen Baustoff**

Neben der Ermittlung der Baukosten wurden im Rahmen der Studie jene Optimierungspotentiale im Bereich von Planung, Genehmigung und Realisierung untersucht, die künftig zu einem vermehrten Einsatz von Holz in der Wohnungswirtschaft führen können. Die entsprechenden Motive der Projektbeteiligten bzw. -verantwortlichen in Hinblick auf die Frage, warum der Baustoff Holz als wesentlicher Baustoff gewählt wurde, wurden in einem zweistufigen Verfahren Befragungen durchgeführt.

Zum einen wurde Mitte 2021 eine Umfrage in Form einer Multiple Choice-Abfrage mit 11 Fragestellungen durchgeführt, die sich in erster Linie an die Hauptbeteiligten der untersuchten Holzwohnbau-Projekte im deutschsprachigen Raum richtete. Bei den Fragen standen die Argumente und Vorbehalte im Vordergrund, die üblicherweise für oder gegen das Bauen mit Holz sprechen. Die Fragen zielten zudem auf erste Anhaltspunkte zu den Erstellungskosten der Holzwohnbauten sowie auf mögliche Vorteile der Holzbauweise gegenüber mineralischen Bauweisen aus Sicht der an den Projekten Beteiligten ab. Von 102 angefragten Projektbeteiligten lagen letztendlich 26 Rückmeldungen vor.

Ergänzend zu der Multiple Choice-Umfrage wurden von den recherchierten Vorhaben Beteiligten drei ausgewiesene Akteure aus Wohnungswirtschaft und Tragwerksplanung im Zuge qualitativer Interviews zu ihren Motiven bzw. Erfahrungen befragt. Durchgeführt wurden die Interviews in der ersten Jahreshälfte 2022 statt und vertieften bzw. ergänzten die Ergebnisse der Multiple Choice-Umfrage.

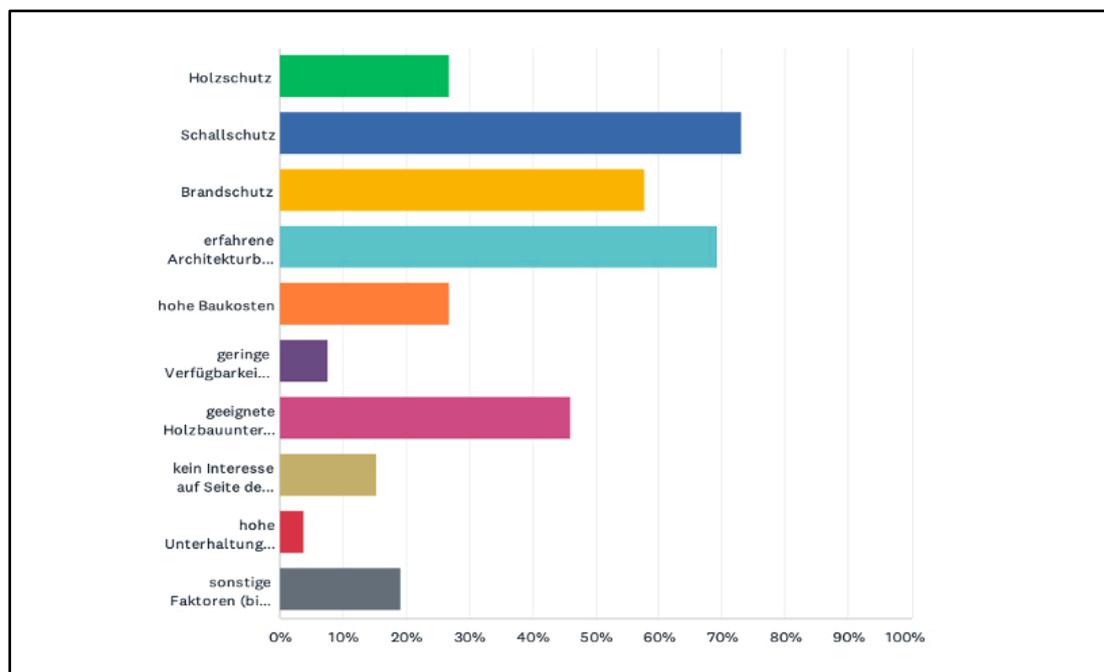


Abbildung 4: Beispiel aus der Auswertung der Multiple Choice-Umfrage; hier zu der Fragestellung: Welche der folgenden Faktoren sind Ihrer Meinung nach bei der Planung und Ausführung von Bauvorhaben in Holzbauweise besonders kritisch?

#### 4.1. Schlussfolgerungen aus der Multiple Choice-Umfrage

Die Multiple Choice-Umfrage zu den Motivationen und Hindernisse für den Holzbau sowie zu den Erstellungskosten großvolumiger Wohnungsbauvorhaben in Holzbauweise lassen drei Schlussfolgerungen zu:

- Expertenwissen:  
Die 102 befragten Akteure wurden ausschließlich aus jenen Unternehmen generiert, die an der Realisation der Wohnbauten und -quartieren beteiligt waren, die Gegenstand dieser Studie waren. Insofern ist davon auszugehen, dass ein überwiegender Teil der Befragten zumindest über grundsätzliche Kompetenzen bezüglich des Bauens mit Holz verfügt, welches vor allem bei den Fachplanern technisch ausgerichtet ist.
- Zustimmung für den Holzbau:  
Obwohl die befragten Akteure mehrheitlich die Holzbauweise als teurer im Vergleich zu einem entsprechenden Vorhaben in mineralischer Bauweise einschätzten, würde die überwiegende Anzahl der befragten Akteure in Zukunft wieder Vorhaben in Holzbauweise realisieren.
- Optimierungspotential:  
Die an der Multiple Choice-Umfrage Beteiligten attestierten den verschiedenen zur Anwendung gekommenen Holzbauweisen erhebliches Optimierungspotential. Dieses Potential wird sowohl bezogen auf die Erstellungskosten als auch auf die Möglichkeiten der Rationalisierung von Planung und Umsetzung gesehen. Dazu kommt ein erhebliches ökologisches Potenzial, welches den Holzbauweisen seitens der befragten Akteure bescheinigt wurde.

## 4.2. Schlussfolgerungen aus den qualitativen Interviews

Die Umsetzungsempfehlungen deuten an, wie dieses Rationalisierungspotenzial gehoben werden könnte. Die Analyse der quantitativen Interviews zeigt vor allem vier Faktoren, die seitens der interviewten Experten hervorgehoben wurden: *Standardisierung und Serialität, Baupartnering, BIM und Vorfertigung* sowie *Holzbaukompetenz*. Diese Hinweise können als grundsätzliche Schlüsselfaktoren einer weiter optimierten Planung und Herstellung großvolumiger Wohnungsbauvorhaben in Holzbauweise interpretiert werden:

- **Standardisierung und Serialität:**  
Hinsichtlich Raumprogramm bzw. Bautechnik standardisierte Bauvorhaben könnten den Planungsprozess vereinfachen und verkürzen sowie die Erstellungskosten deutlich senken. Die in diesem Zusammenhang genannten Aspekte sind die Serialität und der Rückgriff auf bereits realisierte bautechnische Lösungen sowie Wohnungsgrundrisse. Rationalisierung lasse sich zudem durch so genannte Typengenehmigung von Holz- und Holzhybridgebäuden seitens der Bauaufsicht erreichen, was eine zügigere und planungssichere Bauabwicklung zur Folge hätte.
- **Baupartnering / Bauteam:**  
Beim Baupartnering finden projektbezogene Teams der am Bau Beteiligten einschließlich der Ausführenden bereits in einer frühen Planungsphase zusammen. Auf diese Weise könnten die Kompetenzen der Planenden und die Besonderheiten der Fertigungs- und Montageprozesse der ausführenden Holzbauunternehmen frühzeitig berücksichtigt und zusammengeführt werden. Dieses Vorgehen könne zu einer Kostensenkung von 10 % bis 25 % führen. Seitens der Befragten wurde betont, dass das Prinzip des Baupartnerings bzw. des Bauteams für die Realisierung von großvolumigen Holzbauten zwingend erforderlich sei, um bezüglich der Qualität und der Kosten zielgerichtet zu erfolgreichen, d.h. wettbewerbsfähigen Ergebnissen zu gelangen.
- **BIM und Vorfertigung:**  
Ein weiterer Aspekt mit einem Rationalisierungspotenzial sei die konsequente Nutzung des Building Information Modeling (BIM). Die in diesem Zusammenhang erzeugten Planungsdaten stehen in direkter Verbindung mit der Produktion der Holzbauelemente und werden für einen optimierten Abbund bzw. eine optimale CNC-Bearbeitung im Zuge der Vorfertigung als geradezu zwingend notwendig angesehen. BIM ermögliche und vereinfache zudem die CO<sub>2</sub>-Betrachtung bzw. Bilanzierung innerhalb der Herstellungsphase des Gebäudes. Bezüglich der Vorteile der Vorfertigung nannten die Experten die Schnelligkeit und Sauberkeit, mit der die Holzbauelemente auf der Baustelle montiert würden (mit entsprechenden Zeit- und Qualitätsvorteilen gegenüber mineralischen Bauweisen).
- **Holzbaukompetenz:**  
Betont wurde mehrfach, hinsichtlich Architektur und Tragwerks- bzw. sonstiger Fachplanung auf Akteure mit ausreichender Holzbaukompetenz zurückgreifen zu können. Entsprechenden Kenntnissen und Erfahrungen seien in Österreich, der Schweiz und im süddeutschen Raum gegeben. In den übrigen Regionen Deutschlands sei es im Unterschied dazu nicht einfach, entsprechende Kompetenzen und Qualifikationen zu identifizieren.

Weitere Hinweise und Empfehlungen:

- Verbesserung der Koordination zwischen den Gewerken von Holz- und Betonbau;
- Beachtung der neuen Anforderungen des GebäudeEnergieGesetzes (GEG 2020) sowie der Energieeffizienz über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes;
- Berücksichtigung robuster und langlebiger Holzbauteile;
- Verwendung holzsparender Bauweisen (z.B. Holztafelbauelemente) in Hinblick auf eine mögliche künftige Holzverknappung in Europa und weltweit;
- Holzbaulösungen präferieren, die geregelt sind.

Abschließend sei angemerkt, dass das Wissen um die Relevanz der oben genannten Schlüsselfaktoren für ein optimiertes und rationelles Bauens mit Holz noch nicht flächendeckend bei den Akteuren und Verantwortlichen bekannt ist. Die vorliegende Forschungsarbeit möchte u.a. einen Beitrag dahingehend leisten, die bereits vorhandenen Holzbaukenntnisse und -erfahrungen unter den Architekten, Fachplanern und (Holz-) Bauunternehmen innerhalb der gesamten Bau- und Wohnungswirtschaft zu vermitteln.

## 5. Literatur (Auszug)

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022): Das neue Klimaschutzgesetz – Jahresemissionsmengen nach Bereichen bis 2030; [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Bilder\\_Sharepics/mehrklimaschutz/sectorziel\\_e\\_emissionen.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Bilder_Sharepics/mehrklimaschutz/sectorziel_e_emissionen.pdf); abgerufen am 13.09.2022
- [2] Bundesregierung (2021): Koalitionsvertrag. Berlin
- [3] Cheret, Peter et al. (2013): Urbaner Holzbau. Handbuch und Planungshilfe. Berlin
- [4] Dangel, Ulrich (2010): Nachhaltige Architektur in Vorarlberg. Basel/DETAIL Atlas (2017): Mehrgeschossiger Holzbau. München
- [5] DETAIL (2014): Holz. Traditioneller Baustoff für die Architektur der Zukunft. München
- [6] Djahanschah, Sabine, u. Hafner, Annette, u. Seidel; Arnim (2020): Ökologische Mustersiedlung Prinz-Eugen-Park. Düsseldorf
- [7] Gauzin-Müller, Dominique (2011): Ökologische Architektur in Vorarlberg. Basel
- [8] Jacob-Freitag, Susanne, u. Lennartz, M. Wilhelm (2016): Neues Bauen mit Holz. Basel
- [9] Karjalainen, Markku, u. Patakoski, Riku (2007): Kotina puinen kaupunkikylä – esimerkkejä Moderneista puukaupungeista (Wooden urban villages – examples of Modern Wooden Towns). Helsinki
- [10] Kaufmann, Hermann (2011): Bauen mit Holz: Wege in die Zukunft. München
- [11] Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (o.J.): Nachuntersuchung der Modellvorhaben des Experimentellen Wohnungsbaus «Wohnungen in Holzbauweise». München
- [12] Oyarzun Fuentes, Paulina (1992): Holzbausiedlungen: Entwurfsgrundlagen für den Wohnungsbau. Stuttgart
- [13] Rhomberg Bau (2020): Im Holzbau auf dem richtigen Weg – erste Ergebnisse des Innovationsprojekts in der Wolfurter Lerchenstraße. Bregenz, Wolfurt
- [14] Winter, Wolfgang et al. (2005): Holzbauweisen im verdichteten Wohnungsbau. Stuttgart



# Entwickeln für ein nachhaltiges Investment

Peter Wicki  
Leiter Entwicklung  
Zug Estates AG  
Zug, Schweiz





# Entwickeln für ein nachhaltiges Investment

## 1. Einleitung

Nachhaltiges Bauen, nachhaltige Immobilien – welche Fragestellungen beschäftigen Investoren in diesem Zusammenhang? Eine kurze Beleuchtung des Themenfeldes aus Sicht der Zug Estates AG (ZEAG).

Die ZEAG ist eine börsenkotierte Immobilienaktiengesellschaft in der Schweiz mit Sitz in Zug<sup>1</sup>. Die Zug Estates konzipiert, entwickelt, vermarktet und bewirtschaftet Liegenschaften in der Region Zug. Dabei konzentriert sie sich auf zentral gelegene Areale mit vielfältigen Nutzungen und Potenzial für eine nachhaltige Entwicklung. Der grösste Teil des Immobilienportfolios befindet sich in zwei Arealen in Zug und Risch Rotkreuz<sup>2</sup> und ist nach Nutzungsarten breit diversifiziert.

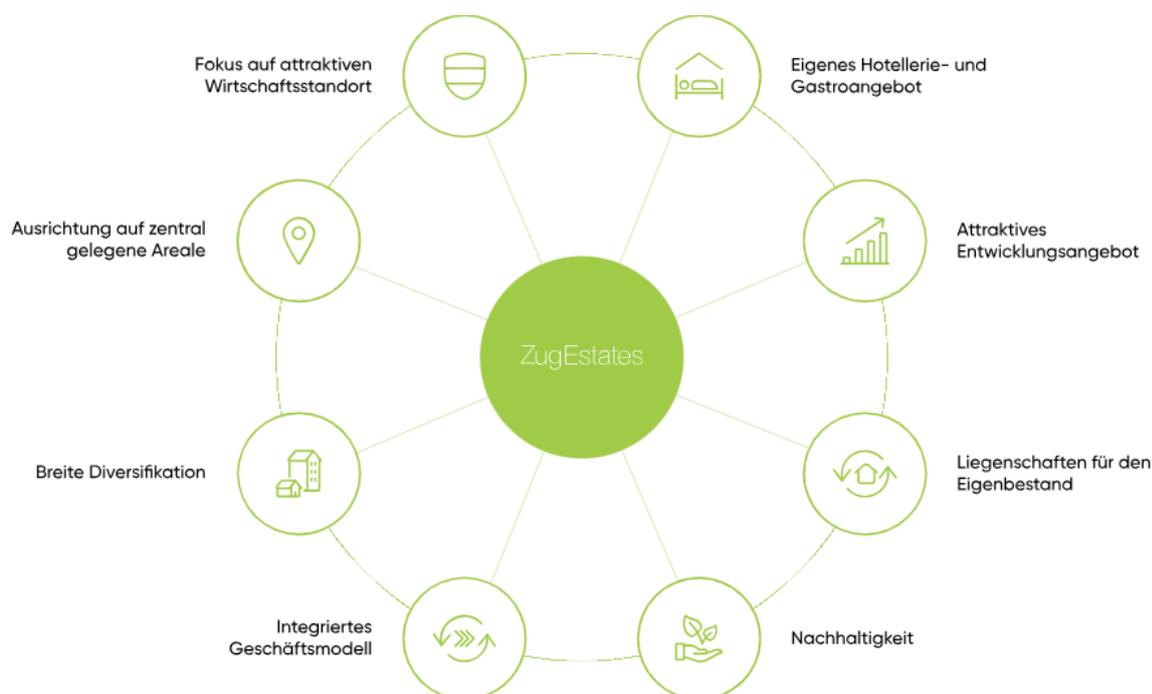


Abbildung 1: Geschäftsmodell der Zug Estates Gruppe

Die Zug Estates verfolgt ein integriertes Geschäftsmodell, das den gesamten Lebenszyklus einer Liegenschaft abdeckt. Das Immobilienportfolio wird aktiv verwaltet und bildet das Fundament für das langfristige Wachstum der Unternehmensgruppe. Ausgehend von den arealspezifischen Gegebenheiten werden gebäudeübergreifende Entwicklungskonzepte umgesetzt, die nachhaltig und ressourcenschonend sind. So haben wir beispielsweise schon früh auf den Holzbau gesetzt und diverse Projekte, wie das erste Holzhochhaus der Schweiz (Suurstoffi 22) oder auch das aktuell höchst Holzhybridhochhaus der Schweiz (Suurstoffi 2/4, Arbo) gebaut.

Da ZEAG für das eigene, langfristig ausgelegte Portfolio entwickelt und viele Leistungen der Wertschöpfungskette selbst erbringt, wägt sie anders zwischen Entwicklungsgewinn und Life Cycle Kosten ab als Entwickler, die nach Errichtung verkaufen.

<sup>1</sup> [www.zugestates.ch](http://www.zugestates.ch)

<sup>2</sup> [www.lebensraum-metalli.ch](http://www.lebensraum-metalli.ch) und [www.suurstoffi.ch](http://www.suurstoffi.ch)

## 2. Nachhaltigkeit in der Immobilienwirtschaft

Die Nachhaltigkeit wird heute branchenweit entlang der ESG-Kriterien (Environmental, Social, Governance) gruppiert. Dabei müssen sich die Unternehmen über die Schwerpunkte ihrer Bemühungen Gedanken machen. Oft wird dies in einer Relevanzmatrix für das jeweilige Unternehmen abgebildet:



Abbildung 2: Relevanzmatrix der Zug Estates, Nachhaltigkeitsbericht nach GRI 2021

Wie aus der Wesentlichkeitsmatrix hervorgeht, liegt das Hauptaugenmerk bei Zug Estates nach wie vor auf Umweltthemen – dies nicht ohne Grund. Wir sind überzeugt, dass wir als Immobilienunternehmen im Bereich Umwelt, insbesondere bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen, den weitaus grössten Impact auf eine nachhaltige Entwicklung haben. Gestützt werden diese strategischen Überlegungen durch die Studie «Environmental hotspots in the supply chain of Swiss companies» im Auftrag des Bundesamts für Umwelt aus dem Jahr 2019. Sie zeigt auf, wo welche Branche entlang ihrer jeweiligen Wertschöpfungskette die grösste Umweltbelastung verursacht. Zudem zeigt sie, dass der grösste Handlungsbedarf bei der Reduktion von CO<sub>2</sub> im Betrieb von Gebäuden besteht – ein Ansatz, den Zug Estates seit über zehn Jahren erfolgreich verfolgt.

### Absenkepfad Scope 1 + 2 Zug-Estates-Portfolio

Spez. Treibhausgasemissionen [kg/m<sup>2</sup> EBF]

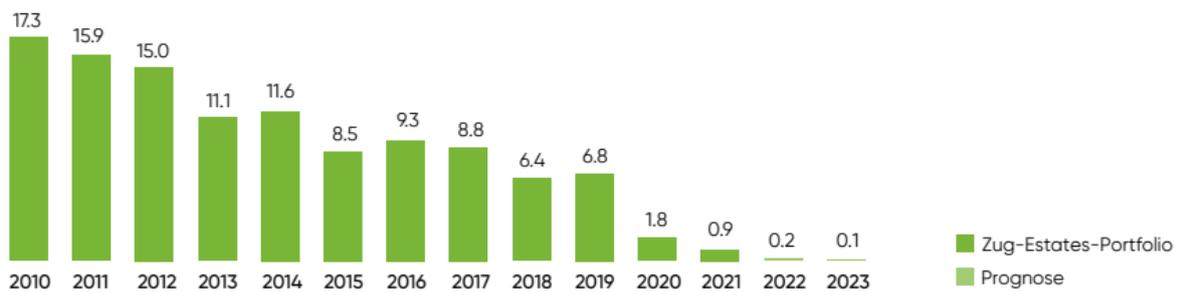


Abbildung 3: Absenkepfad Treibhausgasemissionen Zug Estates, Nachhaltigkeitsbericht nach GRI 2021

Wir haben das Ziel, bis 2023 beim Betrieb des gesamten Immobilienportfolios von Zug Estates nahezu keine Treibhausgasemissionen (Scope 1 und 2) mehr zu produzieren. Damit gehen wir aus zeitlicher Sicht deutlich über die Anforderungen der Energiestrategie des Bundes sowie des Pariser Klimaabkommens hinaus. Aufgrund des Zukaufs eines kleinen Portfolios mit älteren Liegenschaften sind wir 2023 jedoch wieder leicht gestiegen.

## 2.1. Grauennergiebedarf als aktuelle Herausforderung der ökologischen Nachhaltigkeit

Während die grosse Diskussion aktuell noch immer entlang der Fragestellung der Einsparungen von Treibhausgasemissionen in der Betriebsphase von Immobilien verläuft, muss man sagen, dass diese Fragestellung aus technischer Perspektive als relativ einfach bezeichnet werden kann. Die Lösungsansätze sind vorhanden und werden bereits millionenfach umgesetzt. Hier ist es eigentlich «nur» eine Frage der Geschwindigkeit der Umsetzung und der Finanzierung. Ich erlaube mir hier den Einschub, dass dies natürlich die vereinfachte Sicht eines Ingenieurs darstellt und sehr weit von der aktuellen politischen und gesellschaftlichen Diskussion entfernt ist.

Viel interessanter und herausfordernder erscheint uns aktuell die Frage, wie im Neubau die Grauennergie gesenkt werden kann, um die Ökobilanz in der Errichtungsphase der Immobilie zu verbessern.

In der Studie der Hochschule Luzern «Vergleich von Bauweisen» (2022), welche wir in Zusammenarbeit mit Erne AG Holzbau in Auftrag gegeben haben, untersuchten wir die Auswirkungen auf die Ökobilanz von unterschiedlichen Konstruktionsweisen. Im Zentrum der Untersuchung stand der Vergleich von vier konkreten Bürogebäuden in Beton- und Holzhybridbauweise. Die Messung der Ökobilanz erfolgt meist über folgende Formel:

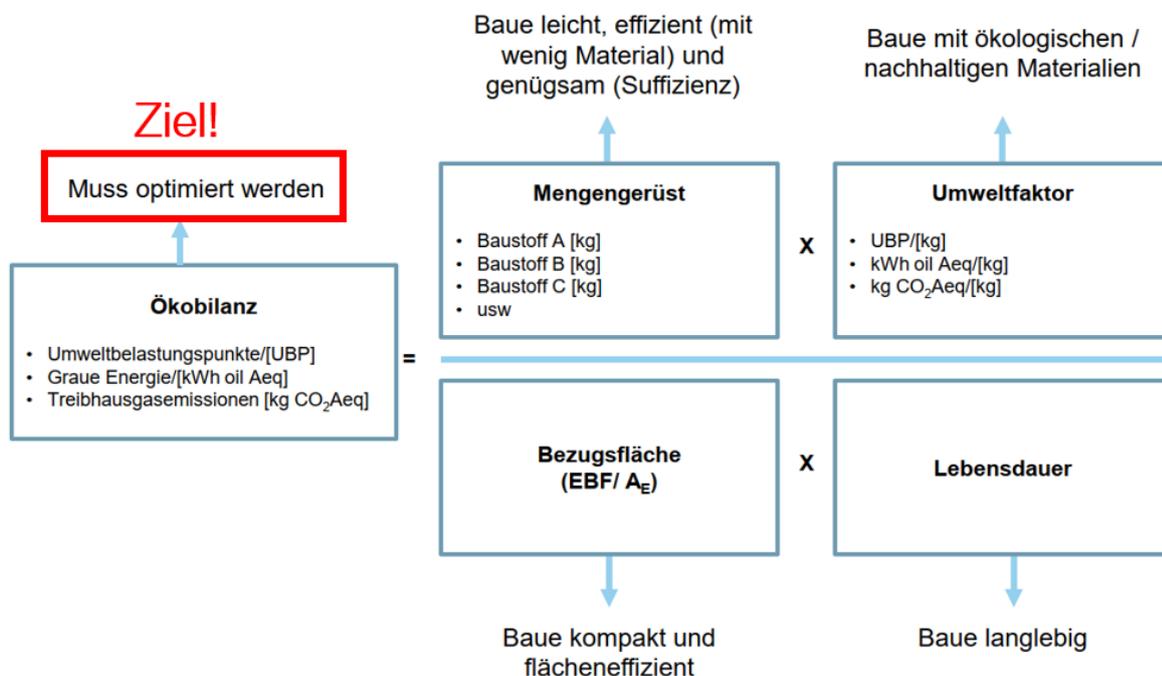


Abbildung 4: Formel zur Optimierung der Ökobilanz aus der Studie «Vergleich von Bauweisen» der Hochschule Luzern im Auftrag von Erne AG Holzbau und Zug Estates, 2022

Entsprechend muss sich ein Entwickler mit den einzelnen Parametern der Gleichung auseinandersetzen. Sowohl im Zähler wie im Nenner gibt es mehrere wichtige Faktoren, welche bereits in der frühen Planungsphase wesentlich beeinflusst werden können. So ist eine Gebäudestruktur mit langer Lebensdauer, welche flexibel auf die sich verändernden Nutzungsanforderungen reagieren kann, per se nachhaltiger als ein Abbruch und Neubau nach kurzer Zeit. Auch die allgegenwärtige Diskussion über Suffizienz der Raumbedürfnisse kann anhand der Formel sehr gut nachvollzogen werden (z.B. effizient konzipierte Wohnungen).

In der technischen und baulichen Umsetzung geht es insbesondere um die Wahl der Konstruktion und des Baumaterials. Hier kann das Holz als nachwachsende Ressource seine ganze Stärke ausspielen und auf breiter Linie ökologisch punkten. Kein anderer Baustoff hat bei gleichen Eigenschaften einen so guten Umweltfaktor. Es sei jedoch der Einschub erlaubt, dass auch die Frage des gebundenen CO<sub>2</sub> im Holz und dessen Freisetzung in Zukunft berücksichtigt werden muss.

Bedeutet dies nun, dass jegliche Bauvorhaben nur noch in Holz umgesetzt werden sollen? Natürlich nicht! Auch wenn aktuell in vielen Architekturwettbewerben eine Holzbaukonstruktion gewinnt und sich weltweit die Unternehmen einen Wettstreit um das höchste Holzgebäude liefern, sollte man sich bei jeder Aufgabe die sinnvollste Konstruktions- und Materialisierungsvariante überlegen. Der Grund dafür kann wiederum in der Formel zur Ökobilanz gefunden werden. Neben dem Umweltfaktor des Materials ist im Zähler das Mengengerüst aufgeführt. Sobald die Anforderungen eines Gebäudes dazu führen, dass die Materialeffizienz im Holzbau schwierig wird, dass mit grossen Stahlverbindungen nachgeholfen werden muss oder dass aus anderen Gründen ein sinnvoll konstruierter Holzbau verunmöglicht wird, sollte man die Materialisierung überdenken.

So haben fortschrittliche Ingenieurbüros gemerkt, dass Konstruktionen in Beton massiv in ihrer Ökobilanz optimiert werden können, wenn das Mengengerüst an Beton durch kluge Konstruktionsweisen verringert werden. Ganz nebenbei hat sich dadurch das Betätigungsfeld und die Relevanz von Ingenieurbüros im Hochbau deutlich verbessert. Natürlich ist sich auch die Betonindustrie der Gefahr für ihre Branche bewusst geworden und arbeitet mit Hochdruck an neuen Zementsorten mit besserer Ökobilanz.

Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist dieser Wettbewerb zwischen den Baustoffindustrien zu begrüssen. Er führt zu Innovation und letztlich zu einer Senkung des Grauenergiebedarfs von Hochbauten.

### 3. Rolle und Motivation der Entwickler und Investoren

In dieser Entwicklung hin zu einer besseren Ökobilanz im Bauwesen haben die Entwicklungsfirmen und Investoren ebenfalls eine wichtige Position. Sind sie in der Rolle des Bauherrn, bestimmen sie, abgeleitet aus den Marktbedürfnissen, die Beschreibung der Bauaufgabe und insbesondere auch die Gewichtung der Auswahlkriterien bei Projekt-, Material- und Konstruktionswahl sowie bei Unternehmervergaben. Die Hebel hierzu sind gross – entsprechend gross ist die Verantwortung.

Nicht jeder Entwickler hat dabei die gleiche Motivation. Ein Trader Developer, also ein Entwickler, der das Gebäude nach Errichtung einem Investor verkauft, profitiert bei Verkauf meist nur wenig von langfristig konzipierten Mehrwerten. Kurzfristige Kostenoptimierung im Erstellungsprozess ist die logische Folge daraus.

Gerade bei privat gehalten Unternehmen oder solchen mit starken Hauptaktionären ist insbesondere die Motivation und der Antrieb dieser Einzelpersonen oder Personengruppen entscheidend, welche Rolle die Nachhaltigkeit im Unternehmen effektiv spielt.

Um die generelle Motivation eines langfristigen Investors bezüglich Nachhaltigkeit zu verstehen, hilft ein Blick auf die Stakeholder und deren Interessen am Thema.

Die wichtigsten Anspruchsgruppen von langfristigen Immobilieninvestoren können grob in sechs Bereiche unterteilt werden:

- Mietermarkt: Wohnungsmieter, Geschäftsmieter (Büro, Gewerbe, Logistik...)
- Kapitalmarkt: Aktionäre, Investoren, Analysten, Kreditgeber, Ratingagenturen ...
- Produktionsmarkt: Bauunternehmen, Planer, Lieferanten ...
- Gesellschaft, Öffentlichkeit, Medien
- Politik, Behörden, Regulator
- Mitarbeitende

Wenn man die Bedürfnisse und die jeweilige Rolle dieser Stakeholder betrachtet, kann man daraus das Spannungsfeld und die Herausforderungen für Investoren im Zusammenhang mit dem Thema Nachhaltigkeit ableiten.

Natürlich ist dabei immer auch die Positionierung des jeweiligen Unternehmens im Markt zu berücksichtigen, wie auch die teils schnellen Veränderungen von Sichtweisen und Relevanz von Themen eine grosse Rolle spielen kann.

Im Folgenden soll auf zwei Anspruchsgruppen detaillierte eingegangen werden:

### **Mietermarkt**

Einen homogenen Mietermarkt als solchen gibt es nicht. Er blättert sich auf in verschiedene Teilmärkte, welche unterschiedlichste Ansprüche an die jeweilige Mietfläche stellen. Generell kann aber gesagt werden, dass die Wohnungsmieter – entgegen der Gewichtung in der gesellschaftlichen Diskussion – bei ihrer Wohnungswahl noch immer wenig auf die ökologische Nachhaltigkeit achten. Eine zusätzliche Zahlungsbereitschaft für besonders nachhaltige Wohngebäude besteht kaum. Aufgrund der hohen Energiesteuerung der letzten Jahre erhält das Thema jedoch über die Heizkostensteigerungen eine gewisse Aufmerksamkeit.

Auch im Mietermarkt für Gewerbeflächen ist eine generelle Aussage kaum zu treffen. Fokussiert man sich hier jedoch auf den hochwertigen Büroflächenmarkt an städtischen A-Lagen, so ist die Nachfrage von grossen, international tätigen Firmen für nachhaltigen Büroflächen hoch (meist mit entsprechenden Labels). Nicht nachhaltige Bürogebäude haben es zusehends schwer, Mieter zu finden. Zu tun hat dies meist mit den Nachhaltigkeitszielen der Firmen, welche sich auch auf die Anmietkriterien von Büroflächen auswirken.

### **Kapitalmarkt**

Zum Kapitalmarkt werden hier alle gezählt, welche auf der Equity- (z.B. Aktien, Beteiligungen), wie auf der Debt-Seite (z.B. Hypotheken, Bonds) in die Assetklasse Immobilien investieren.

In diesem Markt ist die Nachfrage nach nachhaltigen Investitionen in den letzten Jahren deutlich gestiegen und hat durchaus zu Aufschlägen in der Bewertung oder zu Abschlägen in den Finanzierungskonditionen geführt. Beides führt direkt zu besseren Geschäftszahlen. Entsprechend gross sind die Bemühungen der Unternehmen, die Nachhaltigkeit ihrer Produkte zu steigern und auch die Berichterstattung in diesem Bereich zu professionalisieren. Es ist eine eigene, wachsende Beratungs- und Ratingindustrie rund um die Immobilienbranche entstanden, welche die Unternehmen einschätzt und entsprechende Noten und Empfehlungen vergibt. Auch Gebäudelabels (z.B. DGNB) haben dabei an Relevanz gewonnen.

Insbesondere bei den Anspruchsgruppen Politik, Behörden, Öffentlichkeit und Mitarbeitende geht es darum, sich als Unternehmen positiv zu positionieren. Als konkreten Benefit erhoffen sich die Unternehmen zum Beispiel eine höhere Arbeitgeberattraktivität oder schnellere Entscheidungsläufe bei Entwicklungsprojekten. Der Holzbau hat hier grosses Potenzial in der Kommunikation, da er das Thema Nachhaltigkeit optimal transportieren kann.

## **4. Fazit – Take aways**

- Nachhaltiges Bauen ist seit langem ein wichtiges Thema in der Entwicklung von Immobilienprojekten. Insbesondere aufgrund von Anforderungen und Bedürfnissen aus dem Kapitalmarkt hat das Thema in den letzten Jahren nochmals deutlich an Zug gewonnen. Ebenfalls zugenommen hat der Druck der Regulatorien.
- Nicht alle Investoren und Entwickler haben die gleichen, langfristigen Sichtweisen und Geschäftsmodelle. Entsprechend unterschiedlich ist die Motivation in Bezug auf nachhaltiges Bauen.
- Nachhaltigkeit in der Betriebsphase, insbesondere die Nutzung von CO<sub>2</sub> freier Betriebsenergie, ist keine technische Herausforderung, sondern «nur» eine Frage der Geschwindigkeit der Umsetzung und der Finanzierung. Das Thema stellt für viele Investoren aber noch immer eine grosse Herausforderung dar, insbesondere in der Transformation des Bestands.
- Ein wichtiges und aktuelles Thema in Bezug auf die ökologische Nachhaltigkeit von Bauprojekten ist die Minderung der Grauenergie.
- Holzbau ist eine Möglichkeit nachhaltigen Bauens in der Zukunft – aber nicht die einzige!
- Holz sollte da eingesetzt werden, wo es den grössten Nutzen stiften kann – sinnvoller Materialeinsatz der kostenbaren Ressource Holz.



# CARL Pforzheim – Die Entstehung des höchsten Holz-Hybrid-Hochhauses in Süddeutschland

Carsten von Zepelin  
Baugenossenschaft Arlinger eG  
Pforzheim, Deutschland



Dipl.-Ing. Peter W. Schmidt, Architekt BDA  
Peter W. Schmidt Architekten GmbH  
Pforzheim, Deutschland





# CARL Pforzheim – Die Entstehung des höchsten Holz-Hybrid-Hochhauses in Süddeutschland

## 1. Einleitung

Auf einem exponierten Grundstück am westlichen Stadteingang von Pforzheim entsteht ein Gebäudeensemble, das Antworten auf zwei große Herausforderungen unserer Zeit findet: zum einen dem drängenden Bedarf an Wohnflächen und Kindertagesstätten, vor allem in Großstädten, zum anderen auf die Frage, wie nachhaltig gebaut und dadurch auf ökologische Erfordernisse Rücksicht genommen werden kann. Das Ensemble besteht aus dem Wohnhochhaus CARL, mit 14 Geschossen und 45 m Höhe dem bis dato höchsten Holz-Hybrid-Hochhaus in Süddeutschland, sowie zwei weiteren vier- bzw. sechsgeschos-sigen Baukörpern in konventioneller Bauweise. Insgesamt werden die Gebäude 73 Wohnungen mit über 5.300 Quadratmetern hochwertigem Wohnraum bieten, außerdem finden dort eine Kindertagesstätte für 100 Kinder sowie eine Bäckerei ihren Platz.



Abbildung 1: Visualisierung des Gebäudeensembles in der Carl-Hölzle-Straße in Pforzheim  
© Peter W. Schmidt Architekten

## 2. Ausgangssituation

Das Projekt CARL entsteht auf einem etwa 5.000 m<sup>2</sup> großen Grundstück, welches von der Baugenossenschaft Arlinger eG von der Stadt Pforzheim erworben wurde. In der Vergangenheit hatte das Grundstück wenig Beachtung gefunden und wurde als unattraktiv betrachtet. Erst als im Jahr 2015/16, aufgrund des verstärkten Zuzugs, auch nach innerstädtischen Bauflächen gesucht wurde, insbesondere für die Errichtung von Flüchtlingsunterkünften, geriet das Areal in den Fokus. Nicht zuletzt aufgrund seiner Lage vor den Toren des Stadtteils Arlinger, also vor dem «eigenen» Stadtteil, hat sich die Baugenossenschaft Arlinger eG darum bemüht. Es befindet sich an einer stark befahrenen Strecke zwischen der aufgelassenen Wildbader Straße und der heutigen Bundesstraße 294. Die Brache diente als Stellfläche zahlreicher Baustellen-WCs, Container und LKWs und glich eher einem Lagerplatz, umgeben von einigen Grünflächen.

Gemeinsam mit dem Architekten Peter W. Schmidt wurde seitens der Baugenossenschaft Arlinger eG überlegt, welche Verbesserungen diesem eher unwirtschaftlichen Areal verliehen werden könnten. Daraus resultierte die Erarbeitung eines Dreiklangs an Aspekten für die weitere Planung.

**Städtebau:** Das Projekt wird als Landmarke den westlichen Stadteingang Pforzheims kennzeichnen. Im Weiteren ist das Holz-Hybrid-Hochhaus CARL, zusammen mit den beiden anderen Gebäuderiegeln, ein anschauliches und gutes Beispiel für die Aspekte der städtischen Nachverdichtung und Innenentwicklung.

**Nutzungsvielfalt:** Im Projekt entstehen 73 freifinanzierte Mietwohnungen, die im Eigentum der Baugenossenschaft Arlinger eG verbleiben. Zusätzlich entsteht eine KiTa mit sechs Gruppen für bis zu 100 Kindern sowie eine Bäckerei. Das Projekt trägt somit dazu bei, dringend benötigten und bezahlbaren Wohnraum in der Stadt zur Verfügung zu stellen. Auch bei dem noch drängenderen Mangel an KiTa-Plätzen leistet das Projekt einen wertvollen Beitrag.

**Innovation:** Schnell wurde die Entscheidung getroffen, den Hochpunkt des Projekts in Holzbauweise zu errichten. Es war dabei besonders wichtig, ein Gebäude von hoher Glaubwürdigkeit zu schaffen und wo möglich konventionelle Baumaterialien zu substituieren und dies sowohl im Innen- als auch im Außenbereich erlebbar zu machen.

### 3. Nachhaltigkeit

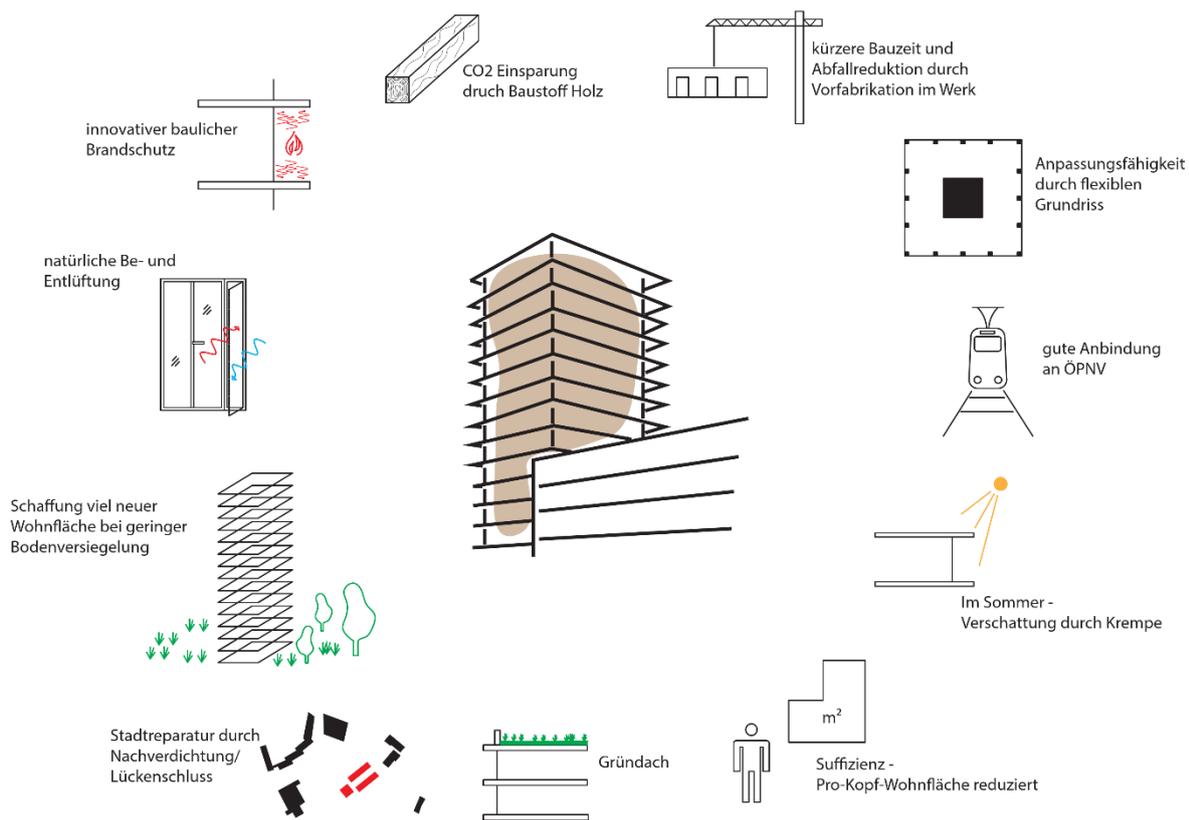


Abbildung 2: Integriertes Nachhaltigkeitskonzept © Peter W. Schmidt Architekten

Die wirtschaftliche Geschichte der Region ist eng verknüpft mit der Holzgewinnung im Schwarzwald. Erstaunlich, dass der Holzbau in unserer Zeit bislang hier keine nennenswerte Rolle spielte. Das Holz-Hybrid-Hochhaus CARL kombiniert nun ökologische Erfordernisse mit der regionalen Holz-Affinität und wird neben dem Nachhaltigkeitsaspekt auch die ästhetischen Qualitäten des Holzes zur Geltung bringen.

Holz wird reichlich zu sehen, zu spüren, zu erleben sein. Konsequenterweise stammt daher auch das Material, wo möglich, aus der Region: Ein Großteil des für den Neubau eingesetzten Holzes wurde im Pforzheimer Stadtwald geschlagen und im Anschluss beim Holzbauunternehmen zu Brettsperholz verarbeitet.



Abbildung 3: Baumfällarbeiten im Pforzheimer Stadtwald (Januar 2022) © Christoph von Zepelin

Die Belüftung des Wohnhochhauses erfolgt in Form einer eigens dafür entwickelten mechanischen Be- und Entlüftung. Die Architekten von Peter W. Schmidt Architekten haben gemeinsam mit dem Akustikplaner eine Möglichkeit entwickelt, um die Räume mit einer «Low-Tech-Lösung» mit Frischluft zu versorgen, ohne dabei den Schallschutz zu vernachlässigen, welchem aufgrund der exponierten Lage an der Bundesstraße 294 eine enorme Bedeutung zukommt. Das Resultat dieser Entwicklung mündete in dem Einbau von fensterhohen «Lüftungskammern». Diese Lüftungskammern wurden mit schallabsorbierenden Materialien ausgekleidet und finden inzwischen auch in weiteren Projekten Anwendung. Auf der Rauminnenseite befindet sich der Öffnungsflügel. Wird dieser geöffnet strömt auf natürliche Art und Weise Frischluft in die Wohnungen.

Die Tiefgarage des Gebäudeensembles umfasst 73 Stellplätze, welche bereits heute alle mit Elektroladesäulen ausgestattet sind, um auch den zukünftig erwartbaren Bedarf an Ladeinfrastruktur zu decken. Die drei Gebäude des Ensembles sind als KfW-Standard 55 EE Energieeffizienz-Häuser ausgeführt und an das städtische Fernwärmenetz angeschlossen.

#### **4. Architektur und Städtebau**

Das Gebäudeensemble, dessen Hochpunkt das 14-geschossige Holz-Hybrid-Hochhaus CARL darstellt, soll als neues städtisches Markenzeichen der Stadt Pforzheim fungieren. Im Sinne einer nachhaltigen Stadtentwicklung besetzt das Ensemble eine langjährige Brache und leistet so einen Beitrag zur «Stadtreparatur».

Das Grundstück am westlichen Stadteingang Pforzheims markiert einen wichtigen Punkt auf dem Weg in den Schwarzwald. Diesen Bezug zu Landschaft, Handwerkskunst und Tradition nimmt das Hochhaus CARL auch in seiner Holzfassade auf und veranschaulicht die Qualitäten eines urbanen Holzbaus, der sich sowohl des regionalen Fachwissens im Holzbau als auch moderner digitaler Fertigungstechniken bedient.

Die markanten, geschossweise auskragenden Beton-Krempen dienen nicht nur technischen Anforderungen, sondern leisten auch einen Beitrag zur architektonischen Gestaltung des Gebäudes. Im Zusammenspiel mit der vertikalen Stollenfassade und den schlanken bodentiefen Fenstern entwickelt das Gebäude eine filigrane Ansicht.

Die Kompaktheit des Gebäudes ermöglicht es alle Räume mit Tageslicht auszubilden. Die intelligente Gliederung der Grundrisse reduziert die Wohnfläche pro Kopf und hält damit auch die Mietkosten auf einem erschwinglichen Niveau. Jede Wohneinheit verfügt zudem über eine geräumige Loggia mit je zwei Ausrichtungen.



Abbildung 4: Das Gebäudeensemble im städtebaulichen Kontext © Peter W. Schmidt Architekten

## 5. Konstruktion

Konstruiert ist CARL als Hybridbau: Dort, wo es aus statischen und brandschutztechnischen Gründen notwendig ist – bei der Fundamentierung, den Keller- und Tiefgeschossen sowie Treppenhauskernen – wird Stahlbeton eingesetzt. Das Treppenhaus wird zudem für die Aussteifung verwendet. Die tragende Konstruktion besteht aus Holz, genauso wie die Fassade. Holz-Beton-Verbunddecken (HBV) werden geschossweise am Treppenkern aufgelegt und spannen bis zu den Außenwänden, wo Buchenurnierschichtholz-Stützen die Lasten abtragen.



Abbildung 5: Gebäudeensemble – Ansicht West © Peter W. Schmidt Architekten

## 5.1. Bauablauf und Meilensteine

Vorentwurf/ Entwurf	2016 – 2019
Bauantrag	09/2020
Baugenehmigung	06/2021
Spatenstich	10/2021
Rohbau	11/2021 – 05/2023
Richtfest	05/2023
Ausbau aller Gebäude	11/2022 – 04/2024
Fertigstellung (geplant)	04/2024

## 5.2. Treppenhauskern

Beim Bau des Treppenhauskerns, welcher aus Brandschutztechnischen Gründen, erforderlich ist, kam das sogenannte «Gleitschalverfahren» zum Einsatz. Gleitschalungen stellen immer dann eine Option dar, wenn bei Bauvorhaben fugenlose Bauwerke oder kurze Bauzeiten erforderlich sind. Bei diesem Verfahren wird ein gesamtes Bauwerk durch kontinuierliches Einbringen von Beton- und Betonstahl in die Höhe «geglitten».

Eine Besonderheit des Gleitschalverfahrens ist, dass aus technologischen Gründen eine Unterbrechung unter allen Umständen zu vermeiden ist. Dies führte dazu, dass beim Bau des Treppenhauskerns ein 24-Stunden-Betrieb eingerichtet wurde. Dadurch wuchs der Treppenhauskern des Holz-hybrid-Hochhauses CARL um 4,30 m / Tag in die Höhe und konnte in nur 10 Tagen realisiert werden. Die Zwischenpodeste des Treppenhauses wurden im Nachgang vor Ort betoniert, während die Treppen als Betonfertigteile vom Baukran sukzessive eingehoben wurden.

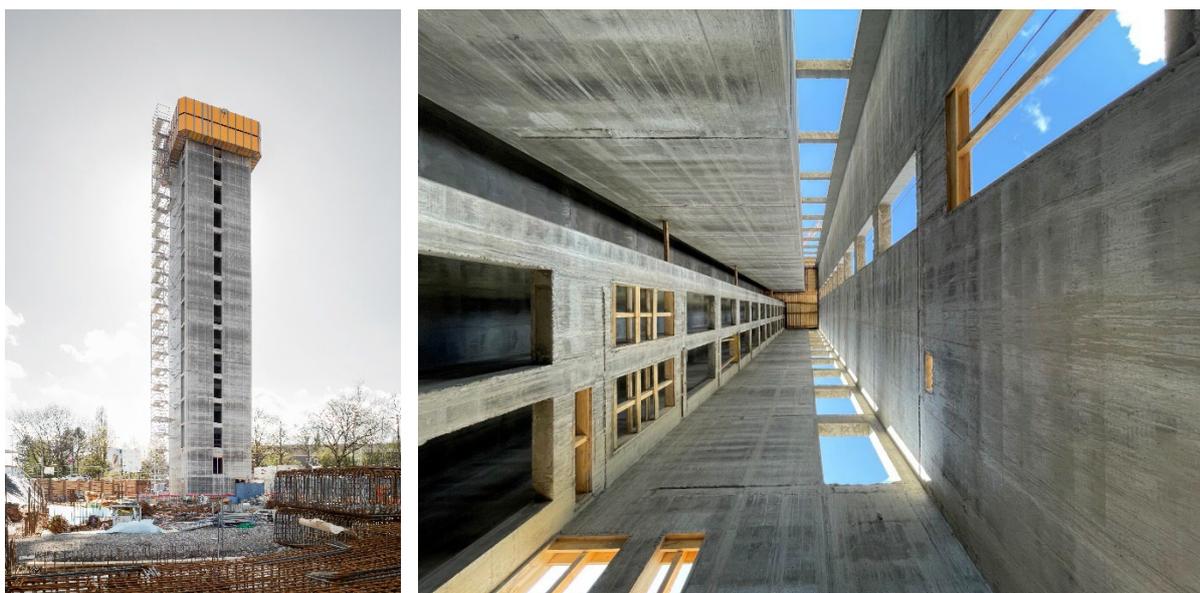


Abbildung 6+7: Der Treppenhauskern wächst mittels Gleitschalverfahren 4,30 m pro Tag in die Höhe  
© Christoph von Zepelin

## 5.3. Statisches Konzept

Das statische Konzept des Gebäudes basiert auf einem Skelettbau mit tragenden Fassadenstützen, auf denen der Ringanker der Betondecke aufliegt. Abgesehen von den Fassaden und vom Treppenkern gibt es im Gebäude keine tragenden Wände. Die Spannrichtung der Decken verläuft demnach von der jeweiligen Fassade zum zentralen Treppenhauskern. Deckengleiche Unterzüge, sogenannte Deltabeam-Träger dienen an den Eckpunkten – an denen die Decken nicht am Treppenhauskern auflagern können – als Auflager.

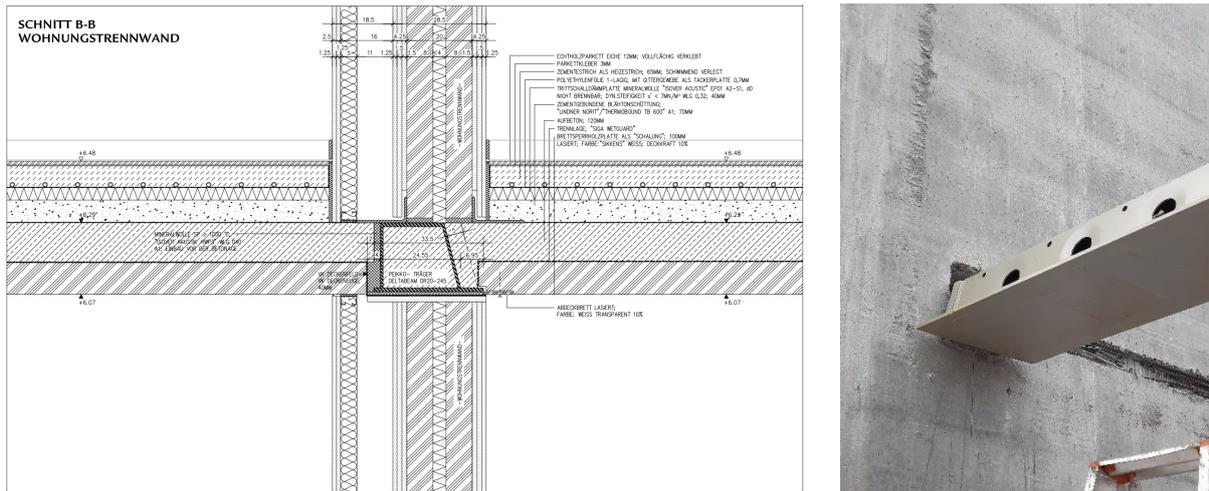


Abbildung 8+9: Links: Schnitt Deltabeam-Träger; Rechts: Anschluss Deltabeam-Träger an Treppenhaukern  
© Peter W. Schmidt Architekten

## 5.4. Holzbau

### 5.4.1. Eingesetzte Produkte und Holzarten

Tabelle 1: Eingesetzte Produkte und Holzarten im Holz-Hybrid-Hochhaus CARL

Einsatzgebiet	Produkt	Holzart
Decken	Brettsperrholz	Fichte
Außenwände und Stützen	Holzrahmenbau / BauBuche	Fichte, Buche
Wohnungstrennwände	Brettsperrholz	Fichte
Fassade	Stollenfassade	Douglasie
Fenster	Holz-Alu-Fenster	Fichte
Bodenbeläge	Parkett	Eiche

### 5.4.2. Außenwandkonstruktion

Die Außenwände bestehen aus einer Holzrahmenbaukonstruktion. Die darin zur Lastabtragung integrierten Stützen aus Buchenfurnierschichtholz messen in den unteren Etagen 26 x 42 cm und werden nach oben hin schlanker. Die Elemente sind mit nicht brennbarer Wärmedämmung (Schmelzpunkt > 1000 ° Celsius) ausgefacht und rauminnenseitig mit Gipskartonplatten verkleidet. Davor sitzt eine ca. 60 mm starke Installationsebene, die rauminnenseitig mit zwei Lagen 12,5 mm Gipskartonplatten beplankt ist. Außen wurden die Stützen mit Folie ummantelt und mit zwei Lagen Gipsfaserplatten verkleidet – die äußere davon feuerabweisend. Eine weitere, 60 mm starke Dämmschicht dient dazu, Wärmebrücken auszuschließen. Gipsfaserplatten und Unterspannbahn als Witterungsschutz ergänzen den Aufbau. Die sichtbare Außenhaut bildet eine Stollenfassade, deren Fassadenbretter aus Douglasie bereits werkseitig mit einem Vorvergrauungsanstrich behandelt wurden.

#### Wandaufbau von Innen nach Außen:

- Gipsfaserplatten 2 x 15 mm
- Installationsebene 60 mm, gedämmt mit Mineralwolle A1 (Schmelzpunkt > 1000 °C)
- 15 mm Gipsfaserplatte
- Dampfsperre
- 260mm Mineralwolle A1 (Schmelzpunkt > 1000°C) zwischen BauBuche-Stützen
- Furnierschichtholz zwischen den BauBuche-Stützen zur Befestigung der Fassade
- 260 mm Riegelwerk mit Mineralwolle (Schmelzpunkt > 1000 °C)
- 60 mm horizontale Lattung gedämmt mit
- Wärmedämmung Mineralwolle A1 (Schmelzpunkt > 1000°C)
- 18 mm Gipsfaserplatte
- Witterungsschutzbahn/ Fassadenbahn

- Lattung, Fichte
- Konter- Lattung, Fichte
- Fassadenelemente als Nut- und Feder- Schalung mit vertikalen Dachlatten als Stollenfassade, Douglasie

### 5.4.3. Nichttragende Innenwände

Für die nichttragenden Wohnungstrennwände des Hochhauses kamen Trockenbauwände zum Einsatz. Die nichttragenden Elemente setzen sich aus zwei Schalen mit je 80 mm Brettsperrholz zusammen, die jeweils raumseitig mit drei Lagen Gipsfaserplatten beplankt sind. Die Beplankung stellt den gewünschten Schallschutz sicher. Um zu gewährleisten, dass die bis zu 5 m langen Innenwände keine tragende Funktion übernehmen, wurden sie lediglich am Boden und an der Stirnseite befestigt. An der Decke wurden entsprechende Fugen eingepplant.

### 5.4.4. Decken und Wohnungstrennwände

Sowohl die Decken als auch die Wohnungstrennwände wurden bereits im Werk des Holzbauunternehmens vorgefertigt. Auch die Außenwände wurden an einem speziellen Fertigungsplatz stehend aufgebaut, gedämmt und mit Platten geschlossen. Nur die Fenster wurden auf der Baustelle montiert – Grund dafür sind einerseits die Lieferfristen der Fenster, andererseits die Gefahr, diese während der Rohbauphase zu beschädigen.



Abbildung 10+11: Montage der vorgefertigten Wandelemente, welche «just-in-time» auf die Baustelle geliefert wurden © Christoph von Zepelin

## 5.5. Holzfassade und Beton-Krempe

In der Fassadengestaltung wird der Baustoff Holz bewusst nach außen getragen. Die Stollenfassade aus Douglasie kleidet alle 14 Geschosse des Holz-Hybrid-Hochhauses und wurde bereits werkseitig mit einem Vorvergrauungsanstrich versehen. Die Holzfassade des Carl leistet somit einen Beitrag zur Sichtbarkeit des Holzbaus im urbanen Kontext. Die markanten, geschossweise angeordneten Beton-Krempen des Gebäudes verhindern mit einem Fassadenüberstand von > 1,00 m einen Brandüberschlag zwischen den Geschossen

und ermöglichen es dadurch, eine Holzfassade sowie bodentiefe Holzfenster unter Einhaltung aller Brandschutzvorschriften zu realisieren. Zugleich stellt die Beton-Krempe einen baulichen Holzschutz der Fassade dar und überträgt dieses technische Detail in eine zeitgemäße und charakteristische Architektursprache.

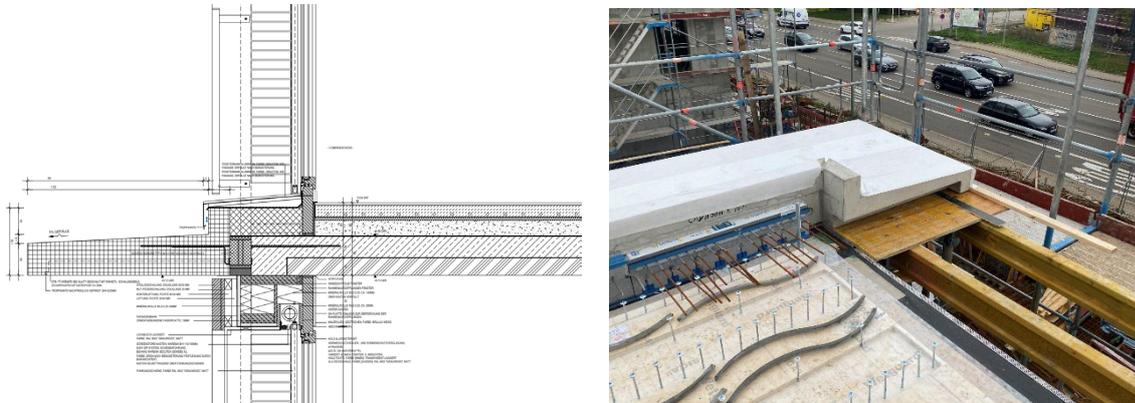


Abbildung 11+12: Links: Detail Betonkrempe; Rechts: Beton-Krempe im Rohbauzustand, zusätzlich zu sehen sind die Iso-Körbe, welche die Verbindung zwischen HBV-Decke und Betonkrempe gewährleisten  
© Peter W. Schmidt Architekten

Die vorgefertigten Fassadenelemente liegen bereits während der Bauphase in den entsprechenden Geschossen montagebereit vor und können über die großen Loggien und über die Beton-Krempe von zwei Personen montiert werden. Dieses Vorgehen stellt eine Optimierung des Bauablaufs dar.

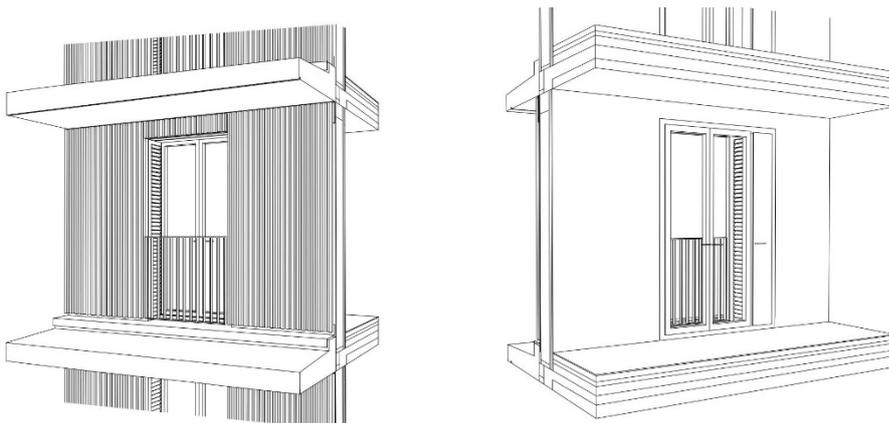


Abbildung 13: Beton-Krempe und Außenwand © Peter W. Schmidt Architekten

## 6. Ausblick

Die Baugenossenschaft Arlinger eG blickt auf eine fast 110-jährige Erfahrung im Bauen zurück. In Anbetracht von gesellschaftlichen Herausforderungen wie Klimawandel und Ressourcenknappheit ist man sich jedoch bewusst, dass ein «Weiterbetonieren» wie in vergangenen Jahrzehnten nicht vertretbar ist. Dieses Bewusstsein verbindet alle Planungsbeteiligten und fand in der partnerschaftlichen Planung und Ausführung des Holz-Hybrid-Hochhauses seinen Ausdruck. In einem interdisziplinären Team und unter frühzeitiger Einbindung von Experten in den Bereichen Brandschutz- und Schallschutz war es möglich, für die komplexen Herausforderungen des Bauens mit Holz, jenseits der Hochhausgrenze, innovative Vorschläge zu entwickeln.

Damit stellt das Projekt für alle Beteiligten ebenso wie für die Region Süddeutschland ein Leuchtturmprojekt dar. Die Region ist seit jeher stark mit dem Baustoff Holz verbunden und wirtschaftlich von der Holzgewinnung im Schwarzwald geprägt. Diese regionale Affinität wird nun auch in der Stadt sichtbar. Für die zukünftigen Nutzenden des Ensembles werden die atmosphärischen, haptischen und raumklimatischen Qualitäten des Baustoffes Holz zu erleben sein.

In der Holz-Hybrid-Bauweise finden Pragmatismus und eine materialbewusste Planung Ausdruck. Zugleich veranschaulicht der Anteil hybrider und konventioneller Baustoffe die nach wie vor bestehenden Hürden beim mehrgeschossigen Bauen mit Holz. Terminlich und preislich kann Carl mit den derzeit in Deutschland entstehenden seriellen Gebäuden mit hohem Vorfertigungsgrad nicht mithalten. Das Projekt leistet jedoch auf andere Art seinen Beitrag zur Weiterentwicklung des Holzbaus – CARL steht für modernen urbanen Holzbau, der mit vierzehn Geschossen die Hochhausgrenze überschreitet. Durch diese Leuchtturmwirkung trägt das Projekt zur Akzeptanz und dem Vertrauen in den Baustoff Holz bei und bahnt weiteren Holzbauten im städtischen Raum den Weg.

In seiner Vorreiterrolle veranschaulicht Carl, wie sich die hohen technischen Auflagen im Holzbau in kreative, gestaltprägende Lösungen verwandeln lassen. Aufgrund seiner innovativen Holz-Hybridbauweise erzielte das Projekt bereits während der Planungsphase eine starke mediale Resonanz. Die Anerkennung des Projekts als Leuchtturmprojekt in Baden-Württemberg durch Politik und Verbände lässt auf eine Katalysatorwirkung und weitere Bauvorhaben dieser Art hoffen.

## 7. Daten

Die Eckdaten des Gebäudeensembles in der Carl-Hölzle-Straße teilen sich wie folgt auf:

### **Holz-Hybrid-Hochhaus CARL (Haus 1)**

Geschosse:	14
Höhe:	45 m
Mietfläche:	2700 m <sup>2</sup>
Wohneinheiten:	37
Nutzung:	Wohnen, Gewerbe
Besonderheiten:	Holzbau, Holzfassade, Loggia in jeder Wohnung, höchstes Holzhochhaus Süddeutschlands

### **Gebäuderiegel mit Kindertagesstätte (Haus 2)**

Geschosse:	6
Höhe:	20 m
Mietfläche:	1560 m <sup>2</sup>
Wohneinheiten:	24
Nutzung:	Wohnen, Kindertagesstätte
Besonderheiten:	Kindertagesstätte

### **Gebäuderiegel (Haus 3)**

Geschosse:	4
Höhe:	12 m
Mietfläche:	915 m <sup>2</sup>
Wohneinheiten:	12
Nutzung:	Wohnen
Besonderheiten:	Laubengang

## 8. Projektbeteiligte

### **Bauherr**

Baugenossenschaft Arlinger eG  
Hohlohstraße 6  
D-75179 Pforzheim

### **Generalunternehmer**

Ed. Züblin AG, Direktion Karlsruhe  
An der Tagweide 18  
D-76139 Karlsruhe

### **Tragwerksplanung (LPH 1 – 3)**

merz kley partner GmbH  
Sägerstraße 6  
A-6850 Dornbirn

### **Tragwerksplanung (ab LPH 4)**

B+G Ingenieure Bollinger und Grohmann  
GmbH  
Westhafenplatz 1  
D-60327 Frankfurt am Main

### **Architekt**

Peter W. Schmidt Architekten GmbH  
Kuppenheimstraße 4  
D-75179 Pforzheim

### **Holzbauunternehmen**

Züblin Timber GmbH  
Industriestraße 2  
D-86551 Aichach

### **Brandschutz**

Dehne, Kruse Brandschutzingenieure  
GmbH & Co. KG  
Meinhardshof 1e  
D-38100 Braunschweig

**Mittwoch, 26. Juli 2023**

**Block A3**

**Bemessen und Konstruieren im Holz(haus)bau**



# Neue Decken für den (Holz-)Hausbau

Volker Schmid  
Entwerfen und Konstruieren – Verbundstrukturen  
Institut für Bauingenieurwesen  
Technische Universität Berlin  
Berlin, Deutschland



Melf Sutter  
Entwerfen und Konstruieren – Verbundstrukturen  
Institut für Bauingenieurwesen  
Technische Universität Berlin  
Berlin, Deutschland





# Neue Decken für den (Holz-)Hausbau

## 1. Decken für den Hochbau mit Holz

### 1.1. Deckentypen

Im mehrstöckigen Holzwohnungsbau mit Spannweiten um die 5 m sind heute Brettsperrholzdecken mit einer zusätzlichen Kiesschüttung für den Schallschutz und zur Schwingungsbegrenzung üblich. Bei größeren Spannweiten ab ca. 7 m, wie sie in Büro-, Wohn- oder Mixed-Use-Gebäuden aus Holz notwendig sind, haben sich Holzbetonverbunddecken durchgesetzt. HBV-Decken mit den üblichen 10-12 cm dicken Stahlbetonplatten ergeben Deckenmassen und -steifigkeiten, mit denen die bemessungsrelevanten Verformungs-, Schwingungs- und Schallschutznachweise gut einzuhalten sind. Ein weiterer Vorteil der HBV-Decken ist ihre geringere Bauhöhe. Sie ist im Beispiel in Abbildung 1 gegenüber einer schlanken, preiswerten und bauphysikalisch optimalen Stahlbetondecke nur 2 cm höher, während eine BSP-Decke 16 cm mehr Bauhöhe erfordert. Im Beispiel sind HBV-Rippendecken zwar ca. 10 cm höher als Stb-Decken, schaffen aber zwischen den Rippen Platz für die Haustechnik, die ansonsten unter der Decke verlaufen müsste. Gegenüber der sehr materialintensiven BSP-Decken sind sie zudem 6 cm schlanker.

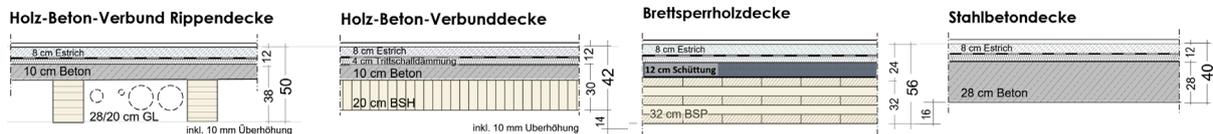


Abbildung 1: Abschätzung der Abmessungen für 8,10 m weit spannende Holz-, HBV- und Betondecken

### 1.2. Minimierung der Treibhausgas-Emissionen durch die Holz-Hybrid-Bauweise

#### 1.2.1. LCA der Deckentypen

Wegen ihrer vielen technischen und monetären Vorteile wird die Stahlbetondecke mit Abstand am häufigsten ausgeführt. Ihre sehr großen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) machen sie aber auch zur umweltschädlichsten Deckenkonstruktion (Abbildung 2). Das ist besonders nachteilig, da Decken den größten Anteil am Bauvolumen ausmachen, insbesondere im mehrstöckigen Bauen. Die grobe Lebenszyklus Analyse (LCA) inklusive Phase D in Abbildung 2 ergibt für 1 m<sup>2</sup> Deckenfläche einer 8,10 m spannenden Stahlbetondecke CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 125 kg CO<sub>2</sub>-Äquiv., während die reine BSP-Decke der Atmosphäre ca.-53 kg CO<sub>2</sub>-Äquiv. entnimmt.

**THG pro 1 m<sup>2</sup> Deckenfläche** [kg CO<sub>2</sub> -Äquiv./m<sup>2</sup>] LCA mit Phasen A + C + D (Substitution)

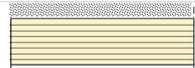
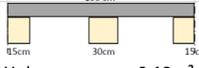
	BSP-Decke	HBV-Rippendecke	Stahlbetondecke
			
	Holzmenge ca. 0,35m <sup>3</sup>	Holzmenge ca. 0,12m <sup>3</sup> Betonmenge ca. 0,10m <sup>3</sup>	Betonmenge ca. 0,28m <sup>3</sup>
1 m <sup>2</sup> Deckenfläche	-53 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	25 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	125 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>

Abbildung 2: Grobe LCA inkl. Phase D für 1m<sup>2</sup> Holz-, HBV- und Betondecke mit 8,10 m Spannweite

#### 1.2.2. Verfügbare Holzmenge

Die Schlussfolgerung, aus diesem Grund möglichst alle Decken, Bauteile oder Bauwerke in massivem Holz auszuführen, ist aber falsch, da dafür nicht genügend Holz zur Verfügung steht. Ein grob vereinfachter Vergleich der im Bauwesen in Deutschland eingesetzten Holz mengen mit der Gesamtmenge der benötigten Baumaterialien im Hochbau zeigen Abbildung 3 und Abbildung 4. Für den Vergleich werden hier zwei Optionen vorgestellt:

### 1. Holzbauanteil in Deutschland (Abbildung 3)

Aus 2018 liegen Angaben zur Anzahl und zum Rauminhalte [m<sup>3</sup>] der genehmigten Bauvorhaben im Hochbau vor [1], getrennt nach überwiegend verwendetem Baustoff und der Gebäudeart (Abbildung 3). Aus dem Vergleich der Anzahl ergibt sich die Holzbauquote 2018 von 18% für den Wohnungs- und Nichtwohnungsbau (in 2022 betrug diese ca. 21%). Wird Allerdings der Holzbauanteil in Rauminhalt [m<sup>3</sup>] bestimmt, ergibt sich 2018 ein Holzbauanteil von nur 8% am gesamten Bauvolumen. Wird dieser Wert entsprechend dem Anstieg der Holzbauquote bis 2022 hochgerechnet, ergeben sich für 2022 ca. 9%.

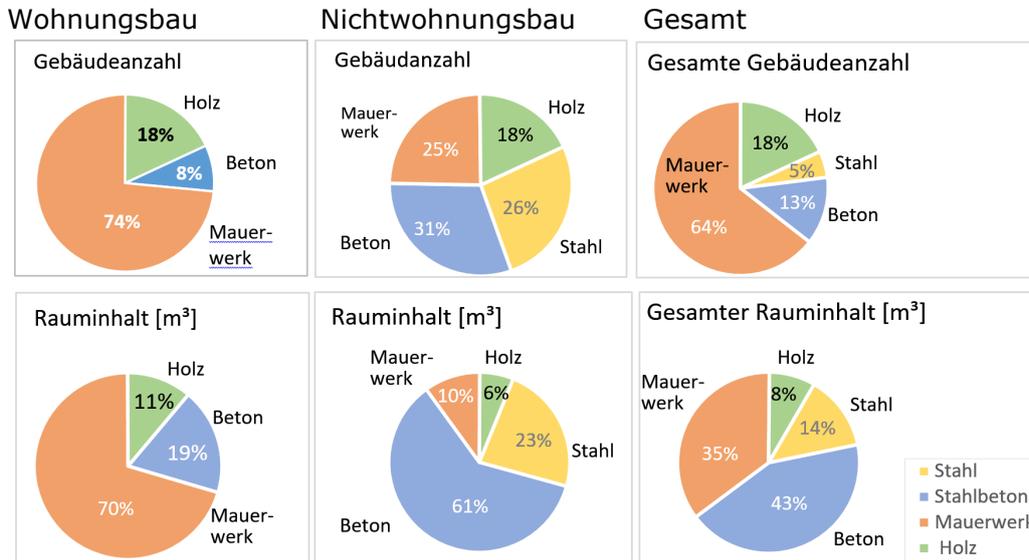


Abbildung 3: Genehmigte Neubauvorhaben in 2018 und mehrheitlich eingesetzte Baustoffe. Nach [1]

### 2. Volumen des verwendeten Baumaterials (Abbildung 4)

Für 2012 bestimmt Mantau [2] grob das Volumen an verbautem Holz, getrennt für den Wohnungs- und Nichtwohnungsbau. Danach wurden 4,9 Mio m<sup>3</sup> Holz in Neubauten eingesetzt. Aus den Angaben zur Zementproduktion und -verwendung des Vereins Deutscher Zementwerke lässt sich das 2012 hergestellte Betonvolumen abschätzen. Die Betonmenge verteilt sich demnach gleichmäßig auf den Tiefbau, Wohnungsbau und Nichtwohnungsbau, so dass für den Hochbau mit ca. 59 Mio m<sup>3</sup> Beton gerechnet werden kann. Im gleichen Zeitraum wurden ca. 7,5 Mio m<sup>3</sup> Mauerziegel und Mauersteine hergestellt.

Bauweise	Verwendung	Wohnungsbau		Nichtwohnungsbau		Summe Hochbau [Mio m <sup>3</sup> ]	Anteil an Gesamtmenge
		Einfam.-häuser	Mehrfam.-häuser	Betriebsgebäude	Industriegebäude		
<b>Holzbau</b>	Neubau	3,4	0,5	0,3	0,7	<b>4,9</b>	<b>6%</b>
	Altbau	6,8		1,7		8,5	11%
<b>13,4</b>	Neu- u. Altbau	10,7		2,7		13,4	17%
<b>Beton</b>	ca. 1/3 Tiefbau	ca. 1/3 Wohnungsbau		ca. 1/3 Nichtwohnungsbau		Summe Hochbau	Beton
	<b>89,0</b>	29,7	29,7	29,7	29,7	59,3	74%
<b>Mauerwerk</b>						Summe	Mauer
	<b>7,5</b>						7,5
<b>Gesamtmenge Holz + Beton + Mauerwerk im Hochbau</b>						<b>80,2</b>	<b>100%</b>

Abbildung 4: Schätzung des in Deutschland verbauten Volumens [Mio m<sup>3</sup>] Baumaterial für 2012

Nach dieser sehr groben Aufstellung wurden 2012 für Neubauten etwa 6% des Bauteilvolumens aus Holz hergestellt. Rechnet man diese 6% am Bauteilvolumen entsprechend dem Anstieg der Holzbauquote auf die Jahre 2018 und 2022 hoch (2012: ca. 16%, 2018: ca. 18%, 2022: ca. 21%), so ergeben sich Holzbauanteile am Neubauvolumen von ca. 7% für 2018 und ca. 8% für 2022. Diese groben Werte sind etwas geringer als nach der Holzbauquote abgeschätzt, liegen aber in der gleichen Größenordnung.

Man kann also annehmen, dass in Deutschland mindestens das 10-fache des heute im Neubau verbauten Holzes notwendig wäre, um ausschließlich mit CO<sub>2</sub>-negativem Holz zu bauen. Das ist aber weder möglich noch ernsthaft das Ziel, da z.B. Keller und Bodenplatten in Holzbauweise wenig sinnvoll sind. Während also ein Einzelbauwerk durchaus komplett aus Holz gefertigt werden kann, ist das für das gesamte Bauaufkommen in Deutschland weder möglich noch sinnvoll. Wichtiger allerdings ist die Erkenntnis, dass der Holzbau nur dann Deutschlandweit einen wirksamen Hebel zur CO<sub>2</sub>-Reduktion besitzt, wenn er maximal effizient zum Ersatz des CO<sub>2</sub> emittierenden Betons eingesetzt wird. Die Frage lautet also: Wie lässt sich die nur begrenzt verfügbare Menge an Holz möglichst klimaeffizient einsetzen?

### 1.2.3. Klimaeffizienter Einsatz von Holz in Deckenkonstruktionen

Für das Bauen steht nur eine begrenzte Holzmenge zur Verfügung. Dazu wird im folgenden Gedankenmodell relativ willkürlich, aber angesichts obiger Ausführungen optimistisch, davon ausgegangen, dass von drei Gebäuden nur eines in BSP-Bauweise hergestellt werden kann. Oder auf Deckenkonstruktionen bezogen (Abbildung 5): dass von 3 m<sup>2</sup> Deckenfläche nur 1 m<sup>2</sup> als BSP-Decke mit 0,35 m<sup>3</sup> Holz hergestellt werden kann, die restlichen 2 m<sup>2</sup> Decke dann aber mit 0,56 m<sup>3</sup> Stahlbeton hergestellt werden müssen. Diese insgesamt 3 m<sup>2</sup> Decke emittieren dann in Summe 198 kg CO<sub>2</sub> nach LCA, Phasen A+C+D. Das sind zwar nur etwas mehr als die Hälfte einer 3 m<sup>2</sup> großen Stahlbetondecke (375 kg CO<sub>2</sub>) aber mehr als das Doppelte der 3 m<sup>2</sup> HBV-Rippendecke (84 kg CO<sub>2</sub>). Die HBV-Rippendecke setzt das Holz also viel effizienter ein als die BSP-Decke und nutzt die verbliebene Stahlbetonmenge optimal auf Druck. Sie ersetzt mit 0,35 m<sup>3</sup> Holz ca. 0,54 m<sup>3</sup> Beton, während die einfache Addition aus 0,35 m<sup>3</sup> BSP- und Stb-Decke nur 0,28 m<sup>3</sup> einspart.

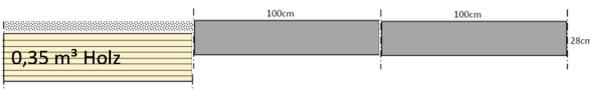
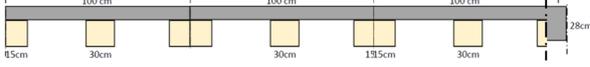
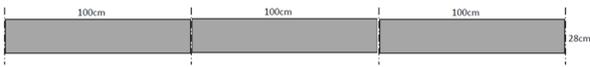
	1 m <sup>2</sup> BSP-Decke + 2 m <sup>2</sup> Betondecke 0,35 m <sup>3</sup> Holz + 0,56 m <sup>3</sup> Beton	198 kg CO <sub>2</sub> -Äqv
	ca. 3 m <sup>2</sup> HBV-Rippendecke 0,35 m <sup>3</sup> Holz + 0,3 m <sup>3</sup> Beton	84 kg CO <sub>2</sub> -Äqv
	3 m <sup>2</sup> Stahlbetondecke kein Holz + 0,84 m <sup>3</sup> Beton	375 kg CO <sub>2</sub> -Äqv

Abbildung 5: THG-Emissionen [kg CO<sub>2</sub>-Äqv] pro 3 m<sup>2</sup> Deckenfläche. LCA Phasen A+C+D(Substitution)

Unter Berücksichtigung des begrenzten Holzvorrats emittieren intelligente Holzhybridkonstruktionen, hier eine HBV-Rippendecke, also deutlich weniger CO<sub>2</sub> (im Beispiel nur die Hälfte) als die ansonsten unvermeidbare Addition von reinen Holzkonstruktionen und reinen Betonkonstruktionen.

Die oben skizzierten Überlegungen basieren auf nur schwierig zu generierenden Daten und Näherungswerten und die angegebenen Größenordnungen sind ungenau. Unabhängig davon bleiben die daraus gezogenen Schlussfolgerungen aber valide.

## 2. Geklebte Decken für den (Holz-)Hausbau

Aus den obigen Ausführungen wird deutlich, dass Holz-Beton-Verbundkonstruktionen eine technisch und ökologisch vorteilhafte Deckenlösung für den Holzbau aber auch für den Massivbau darstellen, da sie einfach mit beiden Bauweisen kombiniert werden können. Mehrstöckige Wohn- oder Bürobauten mit Holz werden sowieso schon häufig als Holz-Hybrid-Bauten erstellt. Nachteile der HBV-Decken sind der erhöhte Aufwand für die Herstellung der Schubverbindung zwischen Holz und Beton, sowie die Koordination zweier Gewerke, insbesondere wenn auf der Baustelle betoniert wird. Letzteres kann durch die Vorfertigung von HBV-Fertigteilen gelöst werden.

Zur Vereinfachung der Schubverbindung zwischen Holz und Beton wird am Fachgebiet Entwerfen und Konstruieren – Verbundstrukturen der TU-Berlin geforscht. Es wurden verschiedene Technologien zum Klebeverbund zwischen Holz und Beton entwickelt, getestet und in einem ersten Pilotprojekt eingesetzt. Die unterschiedlichen Herstellmethoden für geklebte HBV-Decken zeigt Abbildung 6. Im Folgenden werden die Nass-in-Nass-Klebung und die Granulatsplitt-Klebung vorgestellt.

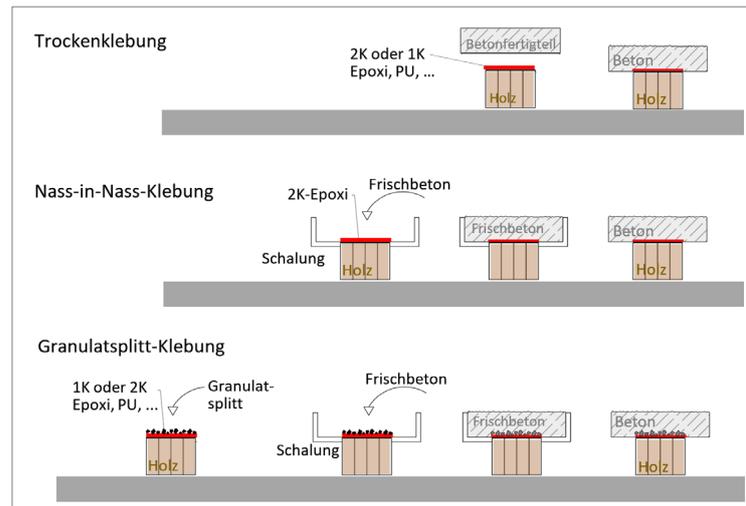


Abbildung 6: Herstellungsmethoden für geklebte HBV-Decken)

### 2.1. Nass-in-nass geklebte HBV-Decken

Die Herstellung der Nass-in-Nass-Klebung zeigt Abbildung 6 mitte. Die eigenen Forschungen zu Nass-in-Nass geklebten HBV-Decken ergaben sehr hohe Schubtragfähigkeiten, in der Höhe der Beton,- bzw. Holzschubfestigkeiten. Es wurden gefüllte 2K-Epoxid-Klebstoffe verwendet, die steif genug sind, um nicht durch den eingeschütteten Beton weggeschoben zu werden. Zunächst wurde HLBV mit Leichtbeton untersucht [3]. Weitergehenden Forschungen mit Normalbetonen der Festigkeiten C20/25 bis C40/50 wurden zusammen mit Cordes Holzbau im Zuge eines von der FNR geförderten Forschungsprojekts durchgeführt [4][5].

Die Tragfähigkeiten der Nass-in-Nass geklebten HBV-Träger wurden zunächst im kleinen Maßstab mit Slip-Block Tests und anschließend mit kurzen Biegeschubbalken ermittelt, um ein Schubversagen in der Verbundfuge zu provozieren. In diesen Kleinversuch trat der Bruch, abhängig von der Betonfestigkeit, im Holz oder Beton auf, die Klebefuge selbst war immer tragfähiger als die angeschlossenen Materialien. Die, mit der 2K-Epoxid-Klebung erreichte, Schubtragfähigkeit überstieg deutlich die Werte üblicher Verbindungsmittel. Sie ist in Abbildung 7 für Leicht- und Normalbetone, genähert als über die Schubfläche verschmierte, äquivalente mittlere Schubspannung  $\tau_{\text{mean}}$  [N/mm<sup>2</sup>] dargestellt.

Zu beachten ist, dass die im Holzbau üblichen Schub- oder Scherversuche je nach Versuchsaufbau prinzipiell unterschiedlich hohe Schubtragfähigkeiten liefern, mit den höchsten Werten für kleinformatige Scherversuche an kleinen Würfeln. Die hier durchgeführten Schubversuche mit ca. 40 cm langen Slip-Block-Tests lieferten höhere Schubtragfähigkeiten als die kurzen Balkenschubversuche. Grund ist der tragfähigkeitssteigernde Querdruck in der Fuge der Slip-Block-Tests, der dort zusätzlich zum Schub und Längsdruck im Holz und Beton auftritt.

Anschließend wurden Biegetests mit praxisgerechten Spannweiten zwischen 5,0 m und 8,0 m durchgeführt. Diese versagten immer auf Biegezug im Holz.

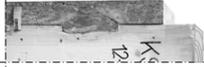
Klebeverbund			Kerven	Schrauben
Nass-in-Nass-Verkleb. Normalbeton C 25/30	Granulatsplittverkl. C 20/25 bis C50/60	Nass-in-Nass-Verkleb. Leichtbeton LC 30/33	Normalbeton	4 Schraubenpaare Normalbeton
$\tau_{\text{mean}} = 6,1^{1)} - 7,0^{1)} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$\tau_{\text{mean}} = 5,3^{2)} - 7,9^{1)} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$\tau_{\text{mean}} = 2,6^{2)} - 5,4^{1)} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$\tau_{\text{mean}} = 1,3 - 1,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$\tau_{\text{mean}} = 0,7 - 1,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
				

Abbildung 7: Schubtragfähigkeiten aus Slip-Block<sup>1)</sup>- und Biegeschub<sup>2)</sup>-Versuchen an verklebtem HBV. Vergleich der Ergebnisse mit Normalbeton, Granulatsplittverklebung und Leichtbeton mit den Ergebnissen für Kerven und Schrauben. Tragfähigkeiten ausgedrückt als äquivalente Schubspannungen [N/mm<sup>2</sup>] im Fugenbereich

Beim Nachbruchverhalten zeigte sich öfters ein Ablösen der Betonplatte vom Holzträger infolge der dann hohen Querkzugkräfte (Abbildung 8 rechts).

Die hohe Tragfähigkeit der Verklebung erlaubt es, das Epoxidharz in schmalen Streifen aufzutragen (Abbildung 8 links). An den Enden muss aber immer vollflächig verklebt werden, um ein frühes Fugenversagen schon während des Abbindens des Betons innerhalb der ersten drei Tage zu verhindern. Grund dafür ist vermutlich das ausgeprägte Fröhschwinden des Betons, das auch als Setzen oder Bluten bezeichnet wird und dessen Größe nicht durch die Schwindberechnungen nach EC2 abgedeckt wird. Zu diesem Thema besteht noch Forschungsbedarf.

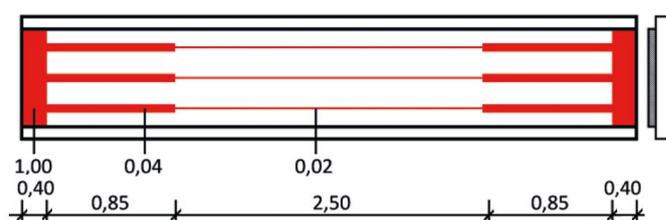
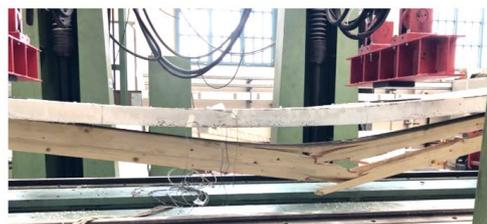


Abbildung 8: links: Klebstoffauftrag im Versuch mit einer BSP-Platte



rechts: Biegezugversagen im Holz, danach Ablösung der Betonplatte

Nachteilig an der geklebten HBV-Bauweise sind die hohen Anforderungen an die Umgebungsbedingungen während dem Verkleben, wie die Einhaltung eines begrenzten Temperaturbereichs, die Schmutzfreiheit und die vergleichsweise kurze Aushärtezeit der Klebstoffe. Für die Praxis bietet sich deshalb eine Verklebung im Werk an.

## 2.2. Granulatsplittverklebung von HBV-Decken

### 2.2.1. Neues Konzept zum Klebeverbund zwischen Holz und Beton

Die Granulatsplittverklebung [6] wurde von der TU-Berlin zusammen mit Lignotrend entwickelt und in einem von der AiF geförderten ZIM-Forschungsprojekt untersucht (Abbildung 6 unten). Bei der Granulatsplittverklebung wird zunächst grober Splitt auf die Holzträger geklebt und bis zur vollständigen Aushärtung gewartet. Auf die so vorbereiteten Holzelemente wird im letzten Schritt der Frischbeton aufgebracht (Abbildung 9). Der Frischbeton verzahnt sich dabei mit dem aus der Klebeschicht herausstehenden Splitt und garantiert einen schubstarren, sehr tragfähigen Verbund.



Abbildung 9: Holzelemente vor und nach dem Aufbringen des Granulatsplitts und beim Betonieren  
© Lignotrend

Die Granulatsplittverklebung hat mehrere Vorteile: Die Verklebung des Splitts wird witterungsgeschützt und kontrolliert im Werk durchgeführt (Abb. 9). Danach kann gewählt werden, ob die Betonplatte ebenfalls schon im Werk aufgegossen wird oder erst auf der Baustelle. Das besplittete Decken-Halffertigteil hat auf der Baustelle den Vorteil, dass es durch die dichte Kleberschicht vor Wasser geschützt und damit sehr robust ist.

### 2.2.2. Slip-Block-Tests

Anders als bei der Nass-in-Nass-Verklebung können bei der Granulatsplittverklebung nicht nur 2K-Epoxidklebstoffe verwendet werden. So wurden ein 2K-Epoxidharz, ein 2K-Polyurethan (PU) und mehreren 1K-PU-Klebesysteme getestet. Dabei wurde im Wesentlichen die Klebstoffmenge variiert aber auch Parameter wie Umgebungs- und Auftragsfeuchte oder unterschiedliche Auftragsdesigns. Beim Granulat lag der Fokus auf den Sieblinien 2/5 und 5/8 mm. Es wurden gebrochener Granitsplitt, Flussskies und der Edelsplitt «Alpine Moräne» getestet. Die Holzqualität, mit Fichte in C24 oder GL24, wurde nicht variiert, aber die Betonfestigkeitsklassen von C20/25 bis C50/60.

Eine Auswahl der Ergebnisse mit 2K-Epoxidklebstoff zeigt Abbildung 10. Die mit 2K-Epoxidharz verbundenen Probekörper versagten im Slip Block Test durchweg spröde außerhalb der Klebefuge im Beton oder im Holzquerschnitt. Im Bereich der Lastein- oder ausleitung kam es lokal zu Ablösungen zwischen Harz und Granulat. Es wurden über die Verbundfläche gemittelte Bruchschubspannungen von maximal  $\tau_{\text{mean}} = 7,9 \text{ N/mm}^2$  erreicht (Mittelwert einer Serie mit 5 Proben). Erst ab Bruchspannungen von ca.  $6 \text{ N/mm}^2$  bis  $7 \text{ N/mm}^2$  trat fast ausschließlich Schubversagen im Holz auf.

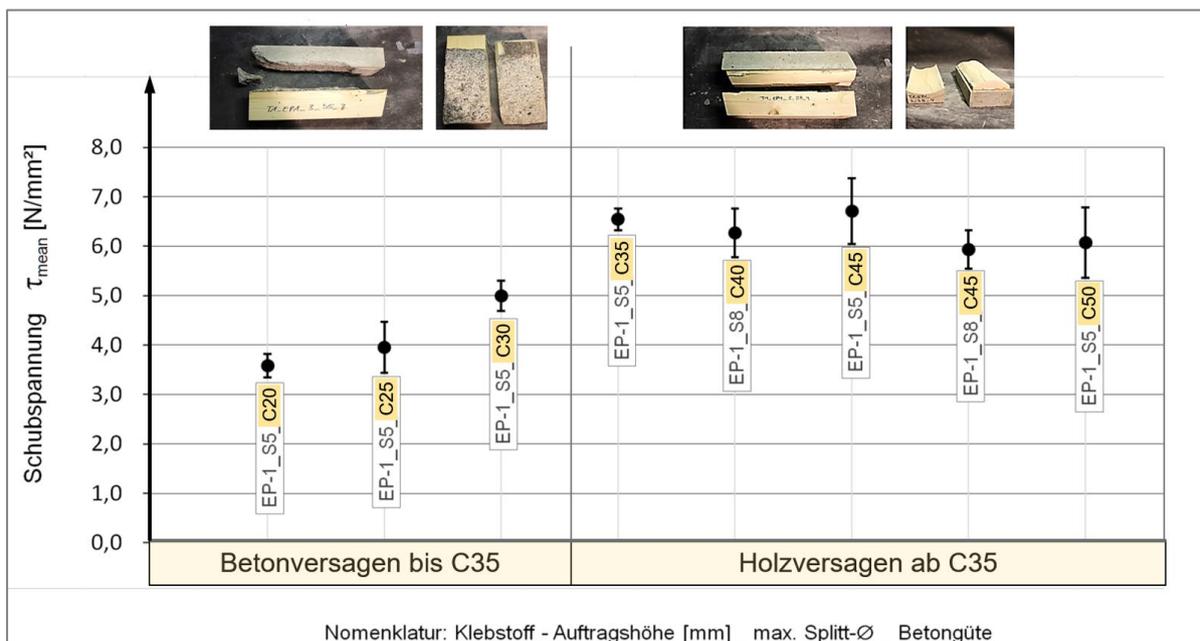


Abbildung 10: Gemessene Schubfestigkeiten im Slip-Block-Versuch: 1 mm 2K-Epoxidharz, maximaler Granulatsplitt-Durchmesser 5 und 8 mm, Betongüten C20/25 bis C50/60

Abbildung 10 zeigt, dass bei den hochfesten 2K-Epoxi-Verklebungen nicht die Klebefuge selbst, sondern die Verbundpartner Holz und Beton die Schubtragfähigkeit limitieren. Bis

zu einer Festigkeit von C35/45 kam es ausschließlich zum Versagen im Beton. Bei den höheren Betonfestigkeiten dominierte das Schubversagen im Holz. Die mit 1K-Polyurethan erstellten Probekörper versagten hingegen i.d.R. innerhalb der Klebstoffschicht und verhielten sich dabei duktil. Je nach Klebstofftyp und -auftragsmenge wurden mittlere Bruchschubspannungen  $\tau_{\text{mean}}$  zwischen 0,8 und 5,6 N/mm<sup>2</sup> ermittelt.

### 2.2.3. Biegeschubtests an kurzen Balken

Um den positiven Einfluss des Querdrucks auf die Holz- und Betonfestigkeit und damit die Fugentragfähigkeit auszuschließen, wurden Versuche an kurzen Balken durchgeführt. Die 1,9 m langen Balken wurden mittig durch eine Einzellast beansprucht, so dass sich rechnerisch ein konstanter Schubkraftverlauf über die Trägerlänge ergibt. Mit realitätsnahen Querschnittsabmessungen für Holz und Beton wurde die Verbundfuge bewusst mit geringerer Breite ausgeführt um ein Fugenversagen zu provozieren (s. Abbildung 11). Es wurden Varianten mit 2K-Epoxidharz und 1K-Polyurethan bei einer Splittgröße von 2-5mm untersucht.

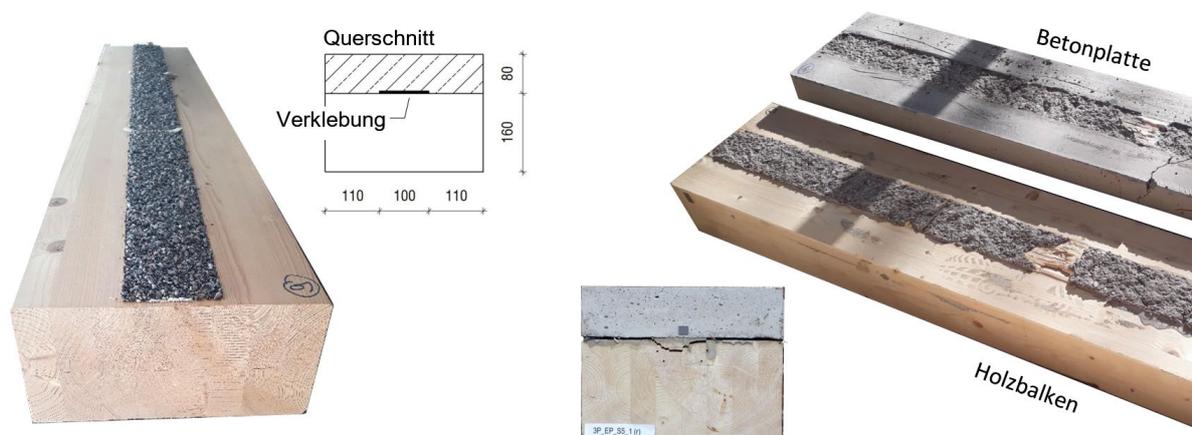


Abbildung 11: Kurze Biegeschubträger mit schmaler Fuge: Links: Vor dem Betonieren. Rechts: Nach den Versuchen mit Beton- und Holzversagen. Das Bild zeigt vorwiegend Betonversagen

Alle Serien erreichten Schubfestigkeiten in der Fuge von ca. 5,3 N/mm<sup>2</sup>. Damit liegen diese ca. 20% unter den Ergebnissen der Slip-Block-Versuche mit Epoxidharz, was sich durch den nicht vorhandenen Querdruck erklären lässt. Während bei den Epoxidharz Systemen der Bruch außerhalb der Fuge im Beton oder Holz stattfand, versagten die PU Balken – wie im Slip-Block-Test – vor allem in der Klebefuge und erreichten die gleiche Schubtragfähigkeit wie im Slip-Block-Test. Die Kohäsionsfestigkeit innerhalb des PU-Klebstoffs scheint hier offensichtlich weitestgehend unabhängig vom Querdruck zu sein.



Abbildung 12: Kurze, gedrungene Lignotrend-HBV-Träger nach den Drei-Punkt Biegeschubversuchen zum Test der Schubtragfähigkeit: Immer Schubversagen im Holz der Stege

Zur Untersuchung der Schubfestigkeit der neuen Granulatsplittverklebung in Verbindung mit den vorgefertigten Hohlkastelementen der Fa. Lignotrend wurden zusätzlich Drei-punkt-Biegeschubversuche an kurzen Balken mit den Abmessungen L x B x H = 190 x 62,5 x 31,3 cm mit einer Betonplattendicke von 8 cm durchgeführt (Abbildung 12). Die Balken versagten alle ausschließlich auf Schub im Bereich der schmalen Holzstege bei

rechnerischen Schubspannungen im Holzsteg von ca.  $3,2 \text{ N/mm}^2$ . Die sehr viel breitere Holz-Beton-Verbundfuge blieb bei allen Versuchen unversehrt. Offensichtlich ist in dem vorliegenden HBV-System die Verbundfuge selbst nicht bemessungsrelevant.

#### 2.2.4. Pilotprojekt mit Granulatsplitt verklebten HBV-Decken Planung und Tests

In der Schweizer Gemeinde Sissach, im Umland von Basel gelegen, wurde ein zweistöckiger Neubau eines kommunalen Doppelkindergartens in Holzbauweise geplant und realisiert (s. Abbildung 13 oben). Verantwortlicher Totalunternehmer war die Beer Holzhaus AG im Team mit Kast Kaeppli Architekten und dem Ingenieurbüro Pirmin Jung. Der Holzbau wurde von der Beer Holzbau AG aus Ostermundigen umgesetzt.

Die ursprüngliche Planung sah für die 7,30 m spannende HBV-Decke einen Querschnitt mit 14 cm Beton auf 16 cm Massivholz vor, exklusive der zusätzlichen 5,5 cm Akustikbekleidung und eine Kervenverbindung. Als Alternative wurde zunächst ein Lignotrend Element von 24,9 cm Höhe (inkl. dem Akustikpanel 3,2 cm), ebenfalls 14 cm Aufbeton und eine Verbindung durch Verschraubung geplant.

Das neue Verbundsystem mit Granulatsplittverklebung konnte als Sondervorschlag des Ausführenden eingebracht werden. Damit ergab sich ein Querschnitt aus 10 cm Aufbeton und einem 28,9 cm hohen (inkl. Akustikpanel 3,2cm) Lignotrend Hohlkastenelement (Abbildung 14 mitte).



Abbildung 13: oben: Doppelkindergarten Sissach, li: Ansicht re: Holzlage der HBV-Decke © Beer Holzbau AG  
unten links: Träger im Biegeversuch; unten rechts: Träger mit Granulatsplitt vor dem Betonieren

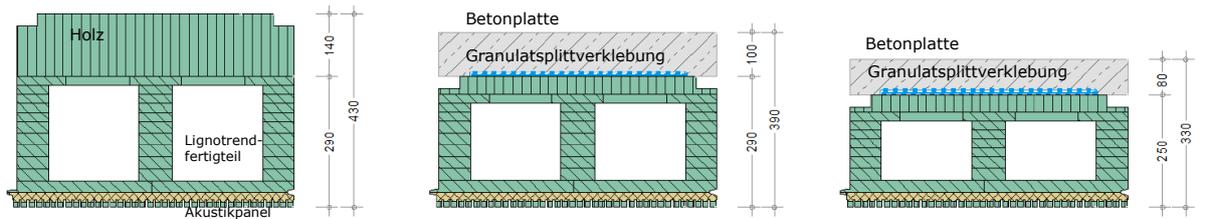
**Alternativer Vollholz-Querschnitt:**Enddurchbiegung  $w_{\text{net,fin}} = 13 \text{ mm (L/550)}$ Schwingung  $f_E = 7,5 \text{ Hz}$ **Verbauter Hybrid-Querschnitt:**Enddurchbiegung  $w_{\text{net,fin}} = 13 \text{ mm (L/550)}$ Schwingung  $f_E = 8,4 \text{ Hz}$ **Optimierter Hybrid-Querschnitt:**Enddurchbiegung  $w_{\text{net,fin}} = 16 \text{ mm (L/450)}$ Schwingung  $f_E = 6,8 \text{ Hz}$ 

Abbildung 14: Querschnittsvarianten mit Lignotrend-FT: links: reiner Holzquerschnitt;  
 mitte: ausgeführter HBV-Querschnitt mit Granulatsplittverklebung;  
 rechts: optimierter Querschnitt mit Verklebung

Für diese erstmalige praktische Anwendung der Granulatsplittverklebung wurde der folgende, sehr konservative Bemessungsansatz gewählt: Das Lignotrend Hohlkastenelement wurde so dimensioniert, dass es allein alle Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit erfüllt. Damit wird die Standsicherheit auch ohne den Klebeverbund gewährleistet und der Beton in dieser Betrachtung lediglich als Last aufgefasst.

Für die Gebrauchstauglichkeitsnachweise, also die Anfangs- und Endverformungen sowie das Schwingungsverhalten, wurde die 10 cm starke Betonschicht als starr mit dem Holz verbunden betrachtet und damit der Verbundquerschnitt angesetzt. Das Holzelement alleine hätte diese Nachweise nicht erfüllt. So ergaben sich mit dem etwas überdimensionierten Querschnitt rechnerisch Durchbiegungen von  $l/1000$  im Anfangszustand und  $l/550$  unter Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden.

Der Schwingungsnachweis war mit einer rechnerischen Eigenfrequenz von 7,2 Hz, zusammen mit dem Steifigkeits- und Beschleunigungskriterium erfüllt. Nachträgliche Messungen am Bauwerk bestätigten die errechneten Verformungen. Die vor Ort gemessene Eigenfrequenz lieferte hingegen mit 10,9 Hz deutliche bessere Werte, obwohl dem, in der Berechnung nicht berücksichtigten, Akustikpanel i.d.R. nur 1-2 Hz Verbesserung zuzuschreiben sind. Somit wäre sogar das strenge 8 Hz Kriterium erfüllt.

Die volle Leistungsfähigkeit der HBV-Decke mit Granulatsplitt-Klebung könnte voll ausgeschöpft werden, wenn auch für die Standsicherheit der starre Klebeverbund angesetzt würde. Dann genügte eine Gesamthöhe des Verbundquerschnitts von 32,2 cm (inkl. 8 cm Beton und 3,2 cm Akustikpanel, s. Abbildung 14 rechts). Dieser reduzierte Querschnitt wurde dann auch für zusätzliche Tests gefertigt und im Versuchsstand der TU Berlin erfolgreich geprüft (Abbildung 13). Die Versuche bestätigten, dass die Querschnittshöhe gegenüber der konservativen Ausführung im Pilotprojekt um 6 cm reduziert werden könnte. Zum Vergleich zeigt Abbildung 14 links zusätzlich einen 10 cm höheren reinen Holzquerschnitt, der die Nachweise für diese Decke ebenfalls erfüllen würde.

**Ausführung**

Alle Hohlkastenelemente wurden inkl. einer vollflächigen Splittbestreuung werkseitig vorgefertigt und zur Baustelle geliefert (Abbildung 9 + 13 oben). Nach dem Verlegen und Unterstützen der Holzdeckenelemente mit 10 mm Überhöhung wurde die Bewehrung sowie die Betonschicht aus Transportbeton bauseits hergestellt. Zur Produktionskontrolle und Qualitätssicherung wurden zusätzlich kurze Biegebalken erstellt, die den gleichen Fertigungsweg, inkl. der Betonage auf der Baustelle, durchliefen und später hinsichtlich der Fugenfestigkeit werksintern geprüft wurden. Der Bauablauf der HBV-Decken verlief so schnell und problemlos, dass die ausführende Firma diese HBV-Variante gerne wieder umsetzen möchte.

### 3. Zusammenfassung

Ziel war es abzuschätzen, wie groß der Anteil der verbauten Holzmenge [m<sup>3</sup>] am gesamten Materialeinsatz [m<sup>3</sup>] für neue Hochbauten in Deutschland ist. Als erste Näherung wurde dazu die Anzahl-basierte Holzbauquote in eine Raumbedarf-basierte Quote [m<sup>3</sup> umbauter Raum] umgerechnet. Demnach wurden im Jahr 2018 ca. 8% des Materialbedarfs von Neubauten durch Holz gedeckt. Ein ähnliches Ergebnis von 7% ergab eine direkte Abschätzung der verbauten Materialmengen [m<sup>3</sup>] im Hochbau für das Jahr 2018. Hochgerechnet für 2022 beträgt der Holzanteil [m<sup>3</sup>] dann ca. 9%, resp. ca. 8%.

Diese einfachen Überlegungen zeigten, dass auch bei einem deutlichen Anstieg der Holzbauquote nur ein kleiner Teil des Materialbedarfs im Hochbau durch Holz gedeckt werden kann. Ziel muss es deshalb sein, das nur begrenzt zur Verfügung stehende Holz möglichst klimaefizient einzusetzen. Unter der optimistischen Annahme, dass zukünftig immerhin 0,35 m<sup>3</sup> Holz für 3 m<sup>2</sup> Deckenfläche zur Verfügung stehen werden, wurde die Klimaefizienz unterschiedlicher Deckensysteme und deren Kombination errechnet. Dabei waren die 3 m<sup>2</sup> HBV-Rippendecke etwa doppelt so klimaefizient wie eine Kombination aus 1 m<sup>2</sup> BSP-Decke und 2 m<sup>2</sup> Stb-Decke. Gegenüber der heute üblichen Stb-Decke emittiert die HBV-Decke sogar weniger als ein Viertel CO<sub>2</sub>, (nach LCA, Phase A+C+D).

So ungenau die vorgenommenen Abschätzungen auch sind, bleibt die prinzipielle Aussage doch gültig: Intelligent konstruierte Holz-Hybrid-Konstruktionen sind die klimaefizientesten Bauweisen bei einer landesweiten Betrachtung und einem beschränkten Holzvorrat.

Decken benötigen das meiste Baumaterial im Hochbau. Deshalb ist es zielführend, sich mit der Weiterentwicklung von HBV-Deckenkonstruktionen zu beschäftigen. Dazu wurden die Herstellung und das Tragverhalten von Nass-in-Nass geklebten HBV-Decken und von HBV-Decken mit Granulatsplittverklebung vorgestellt. Beide Typen zeigten bei praxisrelevanten Spannweiten immer ein Biegezugbruch im Holz. Die Schubverbindung zwischen Holz und Beton blieb starr und unversehrt. Während die Nass-in-Nass-Klebung für eine Werksfertigung von HBV-Fertigteilen prädestiniert ist, kann die Granulatsplittverklebung für die Betonage im Werk und auf der Baustelle verwendet werden. Ein Pilotprojekt in der Schweiz bewies die Praxistauglichkeit dieser schnellen und robusten HBV-Decke.

Die Forschungspartner TU-Berlin, Cordes Holzbau und Lignotrend danken dem BMWK und dem BMEL für die Unterstützung der Forschungen durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) und durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR). Außerdem gilt der Dank dem Totalübernehmer Beer Holzhaus AG, dem Tragwerksplaner Pirmin Jung und dem ausführenden Holzbauunternehmen Beer Holzbau AG für die reibungslose und erfolgreiche Umsetzung des Pilotprojekts in der Schweiz.

### 4. Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt (Destatis), 2019: Bautätigkeit und Wohnungen, Bautätigkeit 2018
- [2] Mantau U, Döring P, Hiller D (2013) Holzeinsatz im Bauwesen – Verwendungsstrukturen nach Gebäuden und Gewerken. In: Weimar H, Jochem D. Holzverwendung im Bauwesen – Ein Projekt der «Charta für Holz». Hamburg 2013
- [3] Zauft, D.; Schmid, V.; Polak, M. A.; Bonded Timber-concrete composite floors with lightweight concrete; World Conference on Timber Engineering; TU Wien, (2016)
- [4] Arendt, S.; Sutter, M.; Breidenbach, M.; Schlag, R.; Schmid, V.: Neue Forschungsergebnisse zu Nass-in-Nass geklebten Holz-Beton-Verbunddecken. Bautechnik 99 (2022), Heft 10, S. 56 - 66
- [5] Arendt, S.; Breidenbach, M.; Sutter, M.; Schmid, V.: Verbunddecken aus Holz und Beton kleben. Adhäsion 12/22. Springer Vieweg, 2022. S. 18-25
- [6] Schmid, V., Sutter, M.: Holz-Beton-Verbund: Klebverfahren und Pilotprojekt mit Granulatsplittverklebung, 26. Internationale Holzbau-Forum (IHF) Band II 1. und 2. Dezember 2022, S. 133 – 142. ISBN 9778-3-906226-49-1

# Innovative beams, floors and floor connections made of hybrid timber structures

Simon Aicher  
MPA Universität Stuttgart  
Stuttgart, Deutschland





# Innovative beams, floors and floor connections made of hybrid timber structures

## 1. Introduction

The use of quasi-homogeneous materials and hereof made structures can often be technically and economically the best solution. However, when looking at the upper end of structural strength and stiffness performance as well as at high strength-weight ratios homogeneously built-up structures are in general uneconomic as wasting much costly materials being strongly underutilized in distinct cross-sectional areas. Combining different strength grades of the same material source is obviously highly advantageous. So, in case of wood an inhomogeneous glulam (GLT) built-up with high-strength laminations in the outer parts of cross-sectional depth and lower-grade laminations in the centre part is preferable in most cases with regard to a proper material utilization and costs. However, an inhomogeneous build-up being confined to the same intrinsic class of material, say solid wood laminations from softwoods, shows obviously performance limits which e.g. in case of GLT according to EN 14080 [1] is a GL32c.

A smart and successful option to extend the performance limits of mono-material build-ups consists in the combination of different materials to create hybrid elements and structures. In case of wooden compounds this means the combination of softwoods and hardwoods and in addition the substitution of solid wood by engineered wood materials such as laminated veneer lumber (LVL) or OSB and plywood in case of web components. This paper presents a compilation of some innovative high-performant hybrid beams, floor or roof elements, floor to floor and floor-column connections co-developed and assisted for approval by German and European building authorities at Timber Department of MPA University of Stuttgart in the last decade.

## 2. Hybrid Glulam Beams

### 2.1. Horizontally staggered build-ups

Glulam build-ups made from softwoods as defined in the European harmonized product standard EN 14080 are restricted to a single species, e.g. spruce (*picea abies*) or Scots pine (*pinus sylvestris*). The highest GLT strength class of GL32 (h or c) requires a tensile strength class of T26 representing the upper end of machine strength graded softwood boards. Conversely the tensile strength of LVL laminations made from soft- or hardwoods extends much higher. The characteristic tensile strength of spruce and pine LVL is 35 N/mm<sup>2</sup> and 37 N/mm<sup>2</sup> ([2], [3], [4]), respectively, and for beech and birch LVL tensile strength is up to 60 N/mm<sup>2</sup> [5].

Hence the placement of these high-strength materials at the outer edges of a GLT cross-section is evidently rewarding [10]. An exclusive use of the reinforcement at the bending tension edge is in many cases economically preferable, hereby activating a plastic compression block of the lower-strength softwood laminations. Such build-ups have been successfully tested in an MPA research project ([6], [7], [8], [9]) laying the basis of a European Assessment Document (EAD 130740-00-0304 [11]) and a first issued German Technical Approval Z-9.1-910 [12].

The bending capacity gains vs. a homogeneously or inhomogeneous built-up mono-material GLT depend obviously on the relative portion of high strength laminations at the edges of the cross-sectional build-up (Fig. 1a) which vice versa then triggers the size of the plastic domain of the bending compression edge. It can be seen that the capacity of the bending member is entirely triggered by the quasi-plastic and damage-softening compressive behaviour [13] of the softwood laminations. Fig. 1 b highlights the bending capacity increase depending on different beech LVL reinforcement ratios at the bending tension

edge. Figs. 1 c and d reveal the damage features at the bending compression edge in case of beech LVL reinforcement at the bending tension edge with two or four laminations, representing reinforcement / substitution ratios of 13,3% and 26,7% with regard to the full cross-section.

The shown fracture appearances, being entirely different from those with mono-material softwood GLTs visualize articulate crushing and buckling of the axially compressed softwood laminations in the upper cross-section part. It can also be seen that the size of the compressively damaged cross-sectional depth is much larger in case of a (too) high reinforcement ratio of 27% (Fig. 1 d) as compared to a lower ratio (13%) shown in Fig. 1 c. It is revealed that reinforcement by beech LVL-laminations with one-sided cross-sectional fractions of 7% and 13%, respectively, enable GLT bending strengths of about 40-50 N/mm<sup>2</sup> being 25% to 60% higher as compared to the highest mono-material softwood GLT strength class GL32 acc. to EN 14080.

It should be stated that the outlined extreme bending strength gains obtained with beech LVL laminations are evidently significantly smaller in case of reinforcement by softwood LVL laminations. Nevertheless, also in this case it is possible and building regulatory approved (Z-9.1-910 [12]) that the characteristic bending strength of a GL24 made from solid softwood laminations can be upgraded by 26% to a «GL30,3» by a one-sided 20% reinforcement with spruce LVL laminations.

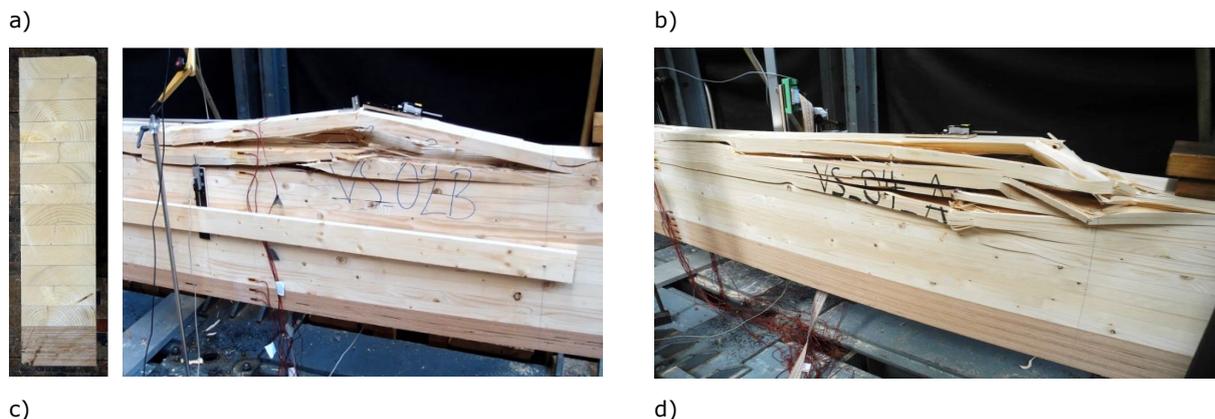
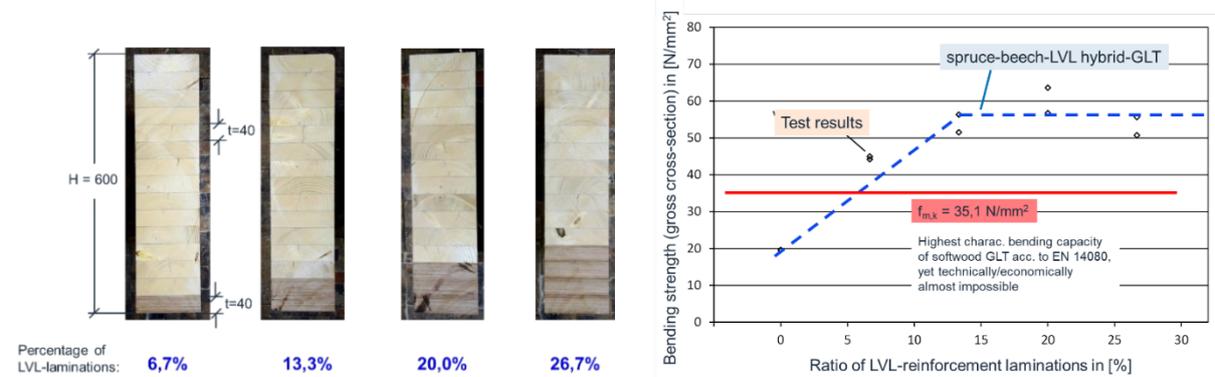


Figure 1 a–d: Hybrid glulam build-up of softwood GLT reinforced at the bending tension edge by beech LVL laminations investigated reinforcement ratios  
 b) bending strengths depending on reinforcement ratios  
 c, d) damage features in the cross-sectional bending compression part depending on reinforcement ratios (13,3% and 26,7%, respectively)

## 2.2. Vertically staggered build-ups

The placement of openings, rectangular or circular is in many constructions an inevitable architectural and technical necessity to enable the passageway for eg. ventilation and (sewage) water pipes. However, this demand poses a massive problem for softwood glulam beams as the opening provokes at the corners of rectangular holes and similarly at distinct

locations at the periphery of round holes high tensile stress concentrations perpendicular to the grain i.e. in the utmost weakest direction of wood (Fig. 2). These stresses can be compensated with internal reinforcement by self-tapping screws or glued-in steel rods or

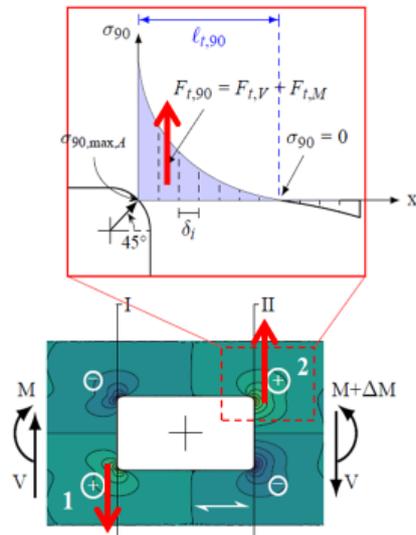


Figure 2: Damage relevant tensile stresses and resultant forces at the corners of rectangular holes in (GLT) beams loaded in bending

by external reinforcement with laterally glued-on plywood plates. These options are specified in DIN EN 1995-1-1/NA [14] and the new draft of Eurocode 5 (prEN 1995-1-1 [15]). However, internal rod and external panel reinforcement are subject to limited hole sizes. Further, lateral reinforcement has a strongly declining effect in case of larger beam widths as the constraints executed by the lateral panels have limited stress spread towards the inner part of beam width [16].

To overcome the drawbacks of the mentioned reinforcements a hybrid GLT beam build-up with vertically arranged interior layers of cross-banded high-strength beech LVL has proven to be highly efficient. Figs. 3a and b show the cross-sectional build-up of an internally LVL plate-reinforced softwood GLT beam as developed, designed and tested by Hess Timber, Lendlease Designmake and MPA for the International House Sidney, Australia [17], [18], [19].

In the specific case two tailor made LVL plates are arranged in-between of three adjacent softwood GLT beams of strength class GL28. The beech wood LVL consists of 10 LVL plies with fiber direction parallel to the beam axis and 4 plies orthogonal. The latter plies and the hereby generated strength and stiffness normal to beam axis act as the actual reinforcement for the detrimental tensile stresses perpendicular to GLT fiber axis. The ratio of the characteristic tensile strengths perpendicular to fiber direction and beam axis of the beech LVL and spruce GLT material amount to  $f_{t,90,k,LVL}/f_{t,90,k,GLT} = .34$ . On the other hand, the well balanced ratio of moduli of elasticity  $E_{0,mean,LVL}/E_{0,mean,GLT} = 0,94$  ensures a rather homogeneous distribution of normal and shear stresses in beam length axis.

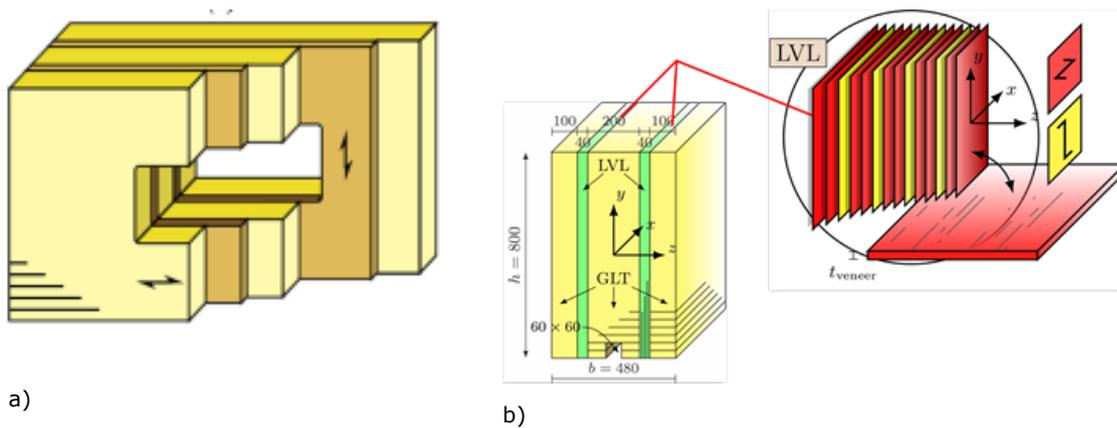


Figure 3 a, b: Internal reinforcement of softwood GLT beams by internal vertically arranged beech LVL plates  
 a) schematic view  
 b) cross-sectional build-up and dimensions



ip and Figure 4: View of large rectangular holes with internal beech LVL reinforcement plates at the International House Sydney

Figure 4 reveals some of the large internally reinforced openings with a hole to beam depth ratio of 0,4 and very small inter-hole distances of 0,63 between adjacent vertical hole edges as realized at the International House Sydney [19].

Full scale tests with the shown hybrid cross-sectional build-up and hole configurations proved a damage tolerant, non-brittle fracture behaviour of the beams, contrary to that normally observed for glulam beams with holes. The ultimate load of the novel build-up was/is not induced by the stress concentrations at the corners of the holes. The obtained bending stiffness and capacity of the highly perforated beam is almost equal to that of a pure GL 28 of same gross cross-section without holes.

The presented technically and architecturally pleasant looking hole reinforcement solutions have been implemented in the meanwhile in some more buildings.

### 2.3. Horizontally and vertically staggered build-ups

Thin webbed I-beams and the more stout I-shaped formwork beams are generally composed of flanges made from either solid softwood or softwood LVL and the web consists of a wood-based panel which may be plywood, solid wood panel, OSB or particle board.

All formwork beams used for RC-shuttering works and conforming to EN 13377 [20] are subject to identical requirements on characteristic section forces irrespective of their partly very different build-up and actual load bearing capacity potential. The reason behind this levelling was / is that formwork beams of different manufacturers may be mingled on the building site and the visual distinction between different brands becomes difficult due to wear after longer service times. However, this approach clearly hinders product progress.

An exception of the stated product levelling has been introduced by the company Doka, Austria, by the so-called I-tec beam covered by a German Technical Assessment Z-9.1-773 [21] where the approval work had been performed at MPA. The cross-sectional build-up of the beam shown in Figs. 5a and b consists of hybrid flanges made from an outer birch lamination glued to an inner spruce lamination while the web is made-up of a 15-layer plywood made from poplar. The reason for the hybrid flange build-up is triggered by two aims, being (i) a higher tensile strength as compared to spruce only and (ii) to achieve much higher compressive and tensile strength perpendicular to fiber in order to avoid flange splitting by the web in the support areas.

The characteristic moment, shear and support force capacities of the I-tec beam

$$M_k = 19,5 \text{ kNm}, V_k = 44,0 \text{ kN}, R_{b,k} = 86,6 \text{ kN}$$

exceed the capacities of the EN 13377 beams by factors of about 2. Further important details are found in [21].

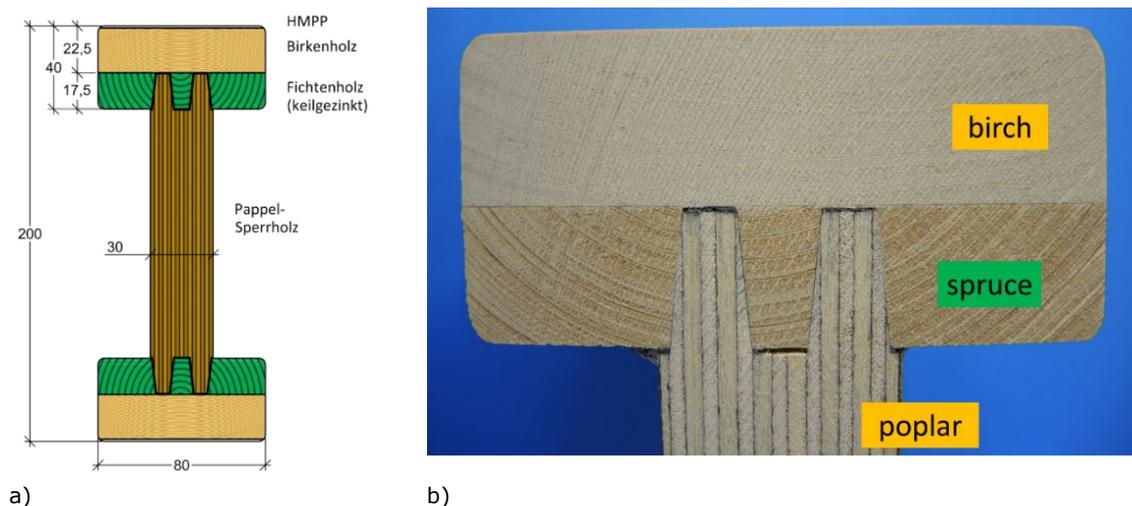


Figure 5 a, b: Hybrid I-tec formwork beam by company Doka, Austria, according to German technical approval Z-9.1-773 [21]

a) cross-sectional build-up and dimensions, b) close-up of hybrid flange-web lay-out

### 3. Innovative floor and roof elements

Wooden floor and roof elements consist in general either of wooden ribs with one- or both-sided sheathings, hence represent so-called timber frame elements, or are monolithic mono-material slabs made from cross-laminated timber (CLT).

Timber frame-type elements span today almost throughout one-axially in direction of the lengthwise arranged ribs. The wood-based sheathings are prevalingly nailed or screwed to the ribs and to a much lesser extent glued-on. Specific build-ups differ mostly with regard to more or less sophisticated coverings for sound insulation or fire resistance. They are lightweight as compared to much heavier monolithic CLT elements built-up from cross-wise layered and bonded softwood boards. In general, CLT elements today span one-directionally too, what is mainly but not exclusively bound to production and especially transport issues. Hence the width of the elements is maximally about 3,5 m whereas lengths are in general in the range of 8-16 m.

Different from timber-frame elements, CLT panels could easily span bi-axially with rather balanced orthotropic behaviour provided a well-performant joining method of the slabs in the secondary i.e. narrow direction of the elements can be established. This, apart from rare solutions ([22], [23], [24]) represents up to today a widely unsolved timber construction issue. Following, two examples of innovative floor and roof slabs, addressing both element alternatives are presented. Firstly, the build-up and some properties of an extreme lightweight, quasi-timber frame element, the so-called Kielsteg element are outlined, followed by a novel jointing technology for bi-axially spanning CLT plates.

#### 3.1. Hybrid wide-spanning thin-webbed Kielsteg element

The so-called Kielsteg (engl. Keel web) element represents a bonded both-sided stressed skin element consisting of finger-jointed lumber chords arranged lengthwise in parallel at the cross-sectional bending tension and compression edges. The multiple parallelly arranged webs consist of S-shaped panels of either plywood or OSB depending on cross-sectional element depth (Fig. 6a, b).

Fig 6c shows the representative unit cell of the cross-sectional build-up and geometry simplifications used in the bending moment and shear force design. Regarding the design verification of compressive stresses normal to element plane the S-shaped geometry has to be considered (see below).

The element is produced fully automated with constant widths and lengths of 1,2 m and 32 m, respectively (Fig. 7). The cross-sectional depths range from 220 to 800 mm. A 3-layer plywood with 4,8 mm thickness is used for webs up to element depths of 380 mm. For larger cross-sectional sizes, depending on element depths and structural utilization OSB with thicknesses of 8-12 mm is taken.

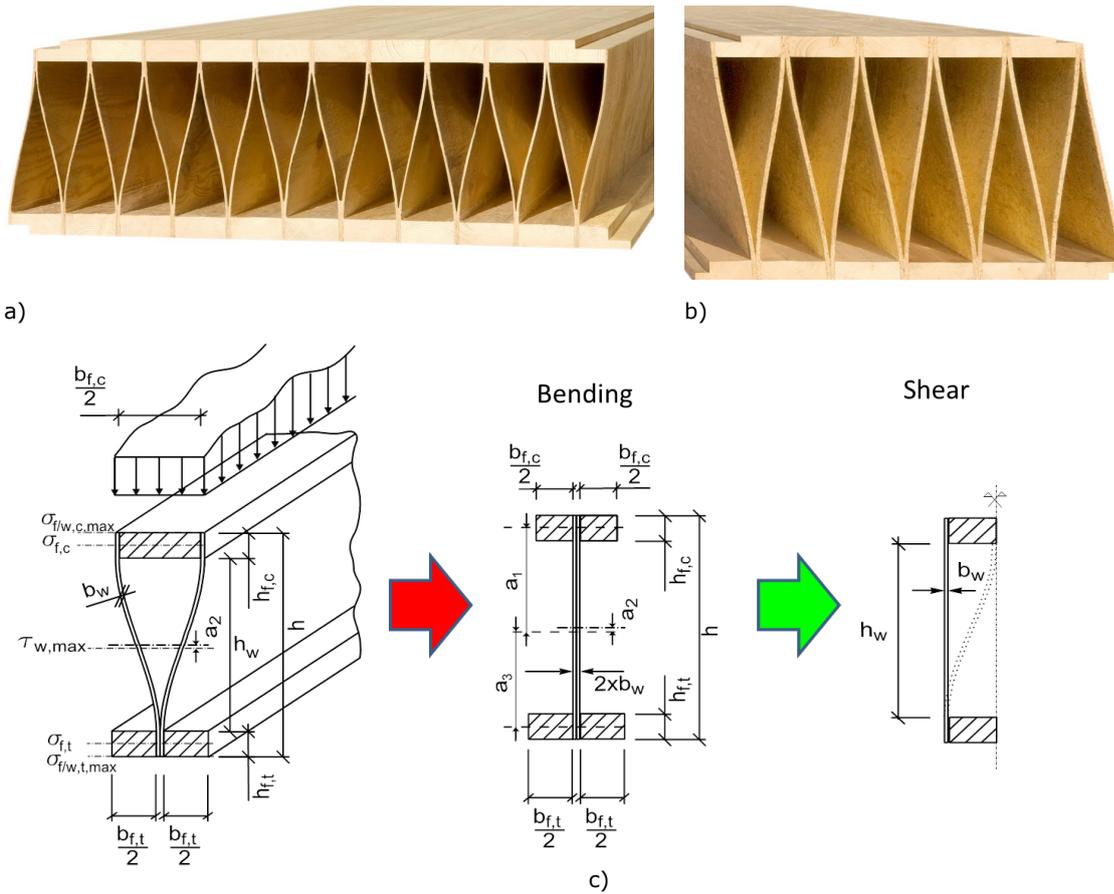


Figure 6 a–c: Kielsteg (Keel web) element acc. To ETA 18/1014 [27]  
 a), b) View of Kielsteg elements with S-shaped webs made of a) plywood or b) OSB  
 c) design relevant unit cell of Kielsteg element and geometry simplifications for bending and shear design

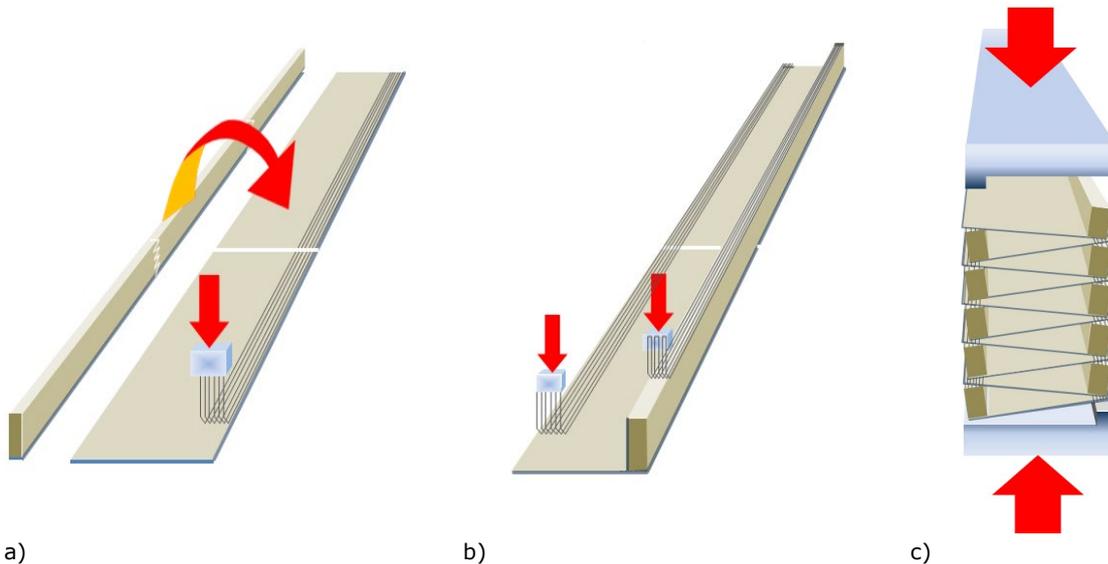


Figure 7 a–c: Basic steps of Kielsteg element manufacture along the fully automated production process at company Kulmer, Austria  
 a) 1<sup>st</sup> adhesive application to web panels and positioning of 1<sup>st</sup> finger jointed lumber flange  
 b) Simultaneous adhesive spread on web panel and narrow rib edge (not shown: positioning of next web panel layer)  
 c) Cramping process with possible pre-cambering

The double curvature of the S-shaped webs introduced in the production during the bonding cramping process allows for a superior non-linear bending behaviour of the webs at end and intermediate supports (Fig. 8). Contrary to straight web plates otherwise exclusively used

in thin-webbed elements (I-beams), the webs exhibit no distinct stability behavior but instead linear and non-linear bending. The bending stresses perpendicular to element length introduced in the webs in the cramping process, subject to some relaxation, have to be accounted for in the design derived theoretically and experimentally in the approval process at MPA ([25], [26]). The European Technical Assessment ETA 18/1014 [27] of the Kielsteg element produced today exclusively by company Kulmer, Austria, is based on ETAG 019 [28], now EAD 140022-00-0304 [29].

Besides the mere length dimensions rendering the element the world's longest prefabricated (timber) element (Fig. 9) with a total instalment area of 380.000 m<sup>2</sup>, Kielsteg elements are excelled by a superior moment to weight ratio. This feature is highlighted in Table 1 in comparison with monolithic symmetrically built-up CLT elements with board thicknesses of 40 and 45 mm. Firstly, the prevailing cross-sectional CLT depth range for floors of 200 mm to 280 mm is regarded. It can be seen that the characteristic bending capacities of Kielsteg elements are almost equal when compared to CLT of same depths.

However, regarding self-weight, Kielsteg elements are about 50% to 60% lighter as CLT, i.e. weight-normalized Kielsteg elements show roughly a two times higher bending capacity. Regarding cross-sectional depths of 380 mm up to 800 mm, no sensible comparison with CLT can be made as these CLT-thicknesses are not produced. Nevertheless, it is noteworthy to mention with regard to the benefits of lightweight construction that the weight-normalized bending capacity of Kielsteg elements increases roughly proportional to element depth. So, at  $h = 800\text{mm}$  ratio  $M_{05}/m_{\text{keel}}$  amounts to  $9,2 \times 10^6 \text{ kNm/kg}$  as compared to  $3,4 \times 10^6 \text{ kNm/kg}$  at  $h = 230 \text{ mm}$  (width:  $b = 1\text{m}$ ).

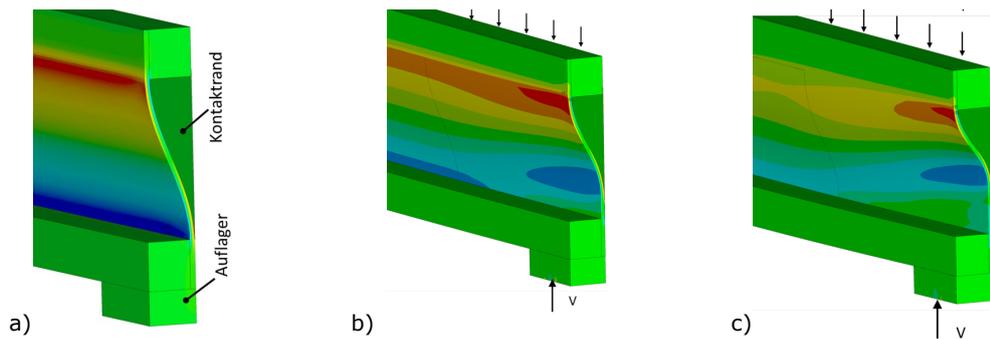


Figure 8: Web bending behaviour due to compressive forces in support area

a) unloaded

b), c) web deformations at 50% and 100% of ultimate load



Figure 9: Mounting of Kielsteg elements with a length of 23 m at a building site. The also shown elements with shorter lengths enable roof windows

Table 1: Comparison of Kielsteg vs. CLT elements regarding self-weight, moment capacity and moment-weight ratio

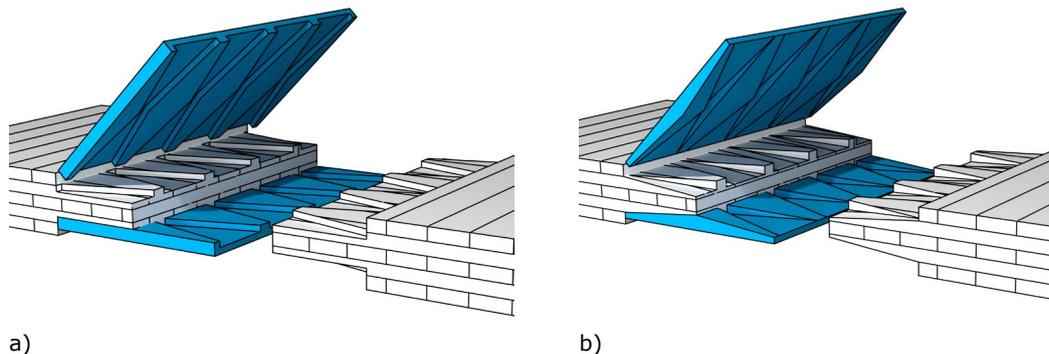
Keel-web elements				depth-wise corresponding X-Lam elements					Moment and weight ratios vs. CLT	
Height h	Flange depth $h_f$	Weight $m_{Keel}$	char. Moment capacity $M_{05/m}$	Height h	Board depth $h_f$	Layers $n_{layers}$	Weight $m_{X-Lam}$	char. Moment capacity $M_{05/m}$	$\frac{M_{05,Keel}}{M_{05,X-Lam}}$	$\frac{m_{Keel}}{m_{X-Lam}}$
[mm]	[mm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[10 <sup>6</sup> kN]	[mm]	[mm]	[-]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[10 <sup>6</sup> kN]	[-]	[-]
228	45	45	154	200	40	5	84	125	1,23	0,54
				225	45	5	94	158	0,98	0,48
280	57	46	236	280	40	7	118	240	0,98	0,39
380	43	47	305				-			
485	57	71	494				-			
800	80	120	1107				-			

### 3.2. Hybrid edge-connection for the secondary direction of CLT plates

The developed connection ([30], [31]) represents a 3-dimensional extension of the lap jointing method [22] where a wooden gusset plate is bonded on top of the outer board layers oriented in the secondary CLT direction. Doing so, of course the outermost layers spanning in the primary load bearing CLT direction have to be removed in the joint area. The load transfer mechanism of the established connection [22] represents a 1-sided single gusset lap joint whose tension-shear capacity is strongly affected by the superimposed bending moment which originates from the offset (eccentricity  $e$ ) of the resultant forces in the jointed secondary layer boards and the gusset plate. The novel connection developed at MPA within Stuttgart University's Cluster of Excellence IntCDC (Integrative Computational Design and Construction for Architecture) aimed to mitigate the mentioned eccentricity drawback. The task was pursued with two somewhat different alternatives A and B shown in Figures 9a and b targeting at

- i) a reduction of force eccentricity  $e$  by creating bond lines at different depths of the jointed boards,
- ii) creating vertical bond lines, too, and
- iii) to use a finger joint-type load transfer.

The sketched attempt necessitates evidently a 3-dimensional shaping of the gusset plate and of the jointed CLT board ends with finger joint-like profiles. In case of alternative B the finger joint surface is further tapered on the wide-side in order to reduce the stress concentrations in the joint. The obviously more demanding manufacture of connection alternative B necessitates a milling machine with four degrees of freedom whilst alternative A can be manufactured with commonly available three-axis CNC machines.



a) Alternative A with horizontal wide finger faces    b) Alternative B with tapered wide finger faces

The material used for the gusset plate is slightly cross-banded beech LVL with a total thickness  $t$  of 40 mm and the residual depth of the milled recesses being 20 mm thick. Figures 11a and b depict the geometry of the gusset plates; the dimensions are specified in Fig. 11c. The bonding of the joint is performed by screw gluing. The use of a gap-filling adhesive, preferably of a two-component thixotropic PUR as used in the joint development or of an epoxy resin is required, especially with regard to allowance of lesser strict milling and manufacturing tolerance specifications. Figure 12a shows a milled CLT adherend together with a one-sided attached beech LVL gusset plate of joint alternative B with tapered fingers. Fig. 12b depicts the assembly of the joint with adhesive spread on the CLT finger surfaces and the pre-mounted self-tapping partially threaded screws (diameter 6 mm, washer head) used for screw gluing with rather close screw distances.

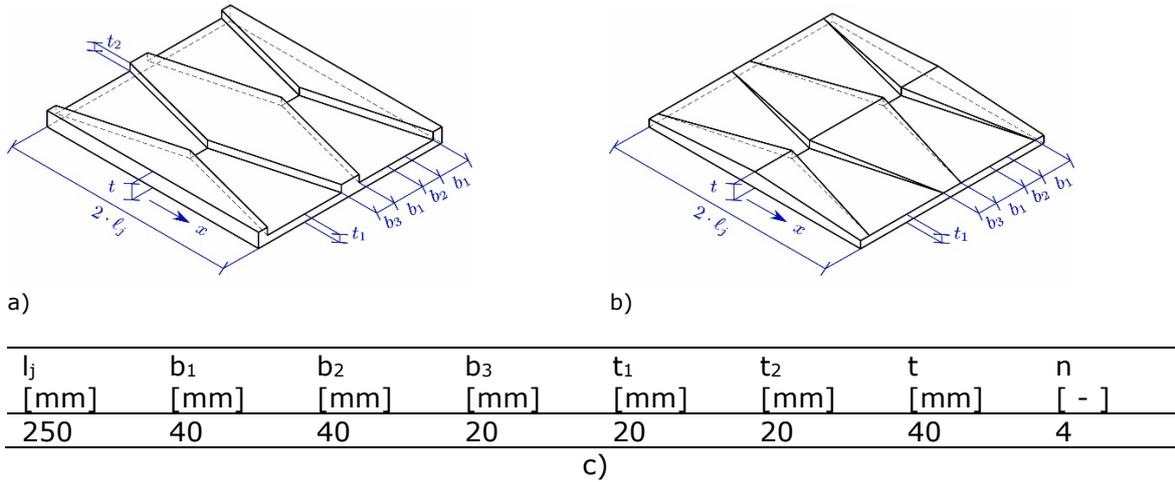


Figure 11: Finger profiled beech LVL gusset plates

- a), b) Geometries of alternatives A and B with horizontal and tapered wide finger faces
- c) Dimensions



Figure 12: Milled CLT adherend with one-sided bonded beech LVL gusset plate with tapered fingers (alternative B)



Figure 13: Assembly of developed CLT edge joint with profiled beech LVL gusset plates (here alternative B) showing the adhesive spread and the mounted self-tapping partially threaded screws used for cramping

The experimental investigations with full-sized joints in 5-layered CLT plates of 200 mm depth and 580 m width proofed that the pure bending moment capacity of both joint alternatives conforms roughly to the characteristic capacity of the unjointed CLT plate in the secondary direction. At combined high shear force and moment action the joint capacity exceeds the resistance of the pure CLT and the joint stiffness is significantly higher as compared to pure CLT in the secondary direction. Comparing alternatives A and B, despite a 10% higher moment capacity of alternative B resulting from the depth-wise tapered fingers, alternative A is recommended for practice. This is bound to a much easier manufacturing and hence costs.

In brief it can be stated that the developed jointing method for 5- and 7- layered CLT plates using adhesively fixed finger joint-profiled beech LVL gusset plates allows the manufacture of continuous CLT floors in the secondary direction without strength and stiffness reductions at the joint locations.

## 4. References

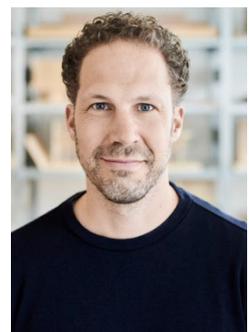
- [1] EN 14080:2013: Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements. CEN, Brussels, Belgium
- [2] DOP Nr: MW/LVL/311-001/CPR/DOP: Kerto LVL S-beam. Manufacturer Metsäliitto Cooperative, Metsä Wood, Lohja, Finland
- [3] DOP Nr: 03-0009-03: Furnierschichtholz für tragende Zwecke, Manufacturer STEICO SE, Feldkirchen, Germany
- [4] Z-9.1-842 (2019): German Technical Approval «Verwendung von Furnierschichtholz» «STEICOLVL RS», «STEICOLVL RL», «STEICOLVL X», Manufacturer: STEICO SE, Feldkirchen, Germany, issued by DIBT, Berlin, Germany
- [5] DOP PM – 005 – 2018: Laminated veneer lumber made of beech wood. Trade name: Platte Baubuche S, Platte Baubuche Q, Manufacturer Pollmeier Massivholz GmbH & Co. KG, Kreuzberg, Germany
- [6] N.N. (2017): Schlussbericht zum ZIM-Forschungsvorhaben KF3083504AT4: Entwicklung von Hochleistungs-Hybrid-Trägern aus Vollholz- und Furnierschichtholzlamellen, MPA Universität Stuttgart, Germany
- [7] Dill- Langer, G., Aicher, S. (2016): High-performance glulam beams made of beech LVL and solid wood lamellas: Experiments and modelling. Proceedings World Conf. on Timber Engineering (WCTE 2016), Vienna, Austria
- [8] Dill-Langer, G., (2017): Hochleistungsverbundträger aus Vollholz- und Furnierschichtholz-Lamellen. Tagungsband 23. Internationales Holzbau-Forum IHF, 149-162
- [9] Dill-Langer, G., Aicher, S. (2017): High performance hybrid timber beams. in «Werkstoffe, Denkmalschutz und ...» (Hrsg. J. Hoffmann). pp. 73-90, IWB, Stuttgart
- [10] Enders-Comberg, M., Frese, M., Blaß, H.J (2015): Buchenfurnierschichtholz für Fachwerkträger und verstärktes Brettschichtholz, Bautechnik 92(1): 9 – 17
- [11] EAD 130740 – 00 – 0304 (2022): Glulam strengthened by LVL, GLVL, and block glued glulam made thereof. EOTA, Brussels, Belgium
- [12] Z-9.1-910 (2023): German Technical Approval «Hybrid – Brettschichtholz». Manufacturer: Hördener Holzwerk GmbH, Gaggenau-Hörden, issued by DIBT, Berlin, Germany
- [13] Frese, M., Enders-Comberg, Blaß, H.J., Glos, P. (2012): Compressive strength of spruce glulam. European J. Wood and Wood Products 70:801 – 809
- [14] DIN EN 1995-1-1/NA:2013: National Annex – Nationally determined parameters – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, DIN, Berlin, Germany
- [15] prEN 1995-1-1 working draft (formal enquiry) (2022): Design of timber structures – Part 1-1: General and rules for buildings (CEN/TC 250/SC 5, N 1650). CEN, Brussels, Belgium
- [16] Aicher, S., Tapia, C. (2012): Glulam with laterally reinforced rectangular holes. Proceedings World Conf. on Timber Engineering (WCTE 2012), Auckland, New Zealand
- [17] Tapia, C., Aicher, S. (2018): A novel LVL-based internal reinforcement for holes in glulam beams. Proceedings World Conf. on Timber Engineering (WCTE 2018), Seoul, Republic of Korea
- [18] Aicher, S, Tapia, C. (2018): Novel internally LVL-reinforced glued laminated timber beams with large holes. Construction and building materials 169:622 – 677
- [19] Butler, T. (2016): International House Sydney. Proceedings Internationales Holzbau-Forum IHF, Vol. 2: 35-45
- [20] EN 13377:2002: Prefabricated timber formwork beams - Requirements, classification and assessment, CEN, Brussels, Belgium

- [21] Z-9.1-773 (2023): German Technical Approval «Holzschalungsträger DOKA-Träger I tec 20». Manufacturer: DOKA GmbH, Amstetten, Austria, issued by DIBT, Berlin, Germany
- [22] Wallner-Novak, M., Koppelhuber, K. Pock, K. (2014): Cross-laminated timber structural design: Basic design and engineering principles according to Eurocode. ProHolz Austria, Vienna, Austria
- [23] Kawrza, T., Furtmüller, T., Adam, C., Maderebner, R. (2020): Parameter identification for a point-supported cross laminated timber slab based on experimental and numerical model analysis. *European Journal Wood and Wood Products* 79: 317-333
- [24] Asselstine, J., Lam, F., Zhang, C. (2021): New edge connection technology for cross laminated (CLT) floor slabs promoting two-way action. *Engineering structures* 233, engstruc. 2020.111777
- [25] Aicher, S. Stritzke, C. Klöck, W. (2014): Keel- web element – novel wood-based light-weight elements for wide span. *Proceedings world conference on Timber Engineering (WCTE 2014)*, Quebec, Canada
- [26] Stritzke, C. (2023): Berechnung und Bemessung der Auflagerdruck- und Querkrafttragfähigkeit dünnwandiger Stegträger aus Holz und Holzwerkstoffen. PdD thesis presently submitted
- [27] ETA – 18/1014 (2009): Kielsteg. Manufacturer: Kulmer Holz – Leimbau GmbH, Pischelsdorf, Austria, issued by DIBT, Berlin, Germany
- [28] ETAG 019 (2005) Prefabricated wood-based loadbearing stressed skin panels, EOTA, Brussels, Belgium
- [29] EAD 140022-00-0304 (2018): Prefabricated wood-based loadbearing stresses skin panels, EOTA, Brussels, Belgium
- [30] Claus, M., Tapia, C., Aicher, S. (2021): Bond-line characteristics of new edge connections of cross-laminated timber in the weak direction based on milled profiled connection plates from laminated veneer lumber made of beech. *Otto-Graf-Journal*, Vol 20: 39-60
- [31] Tapia, C., Claus, M., Aicher S. (2022): A finger-joint based edge connection for the weak direction of CLT plates. *Construction and Building Materials* 340, conbuildmat.2022.127645



# Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen

Univ.-Prof. Stephan Birk, Dipl.-Ing. Architekt BDA  
Technische Universität München  
Birk Heilmeyer und Frenzel Architekten, Stuttgart  
Deutschland





# Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen

Der Gebäudesektor steht vor einer grundlegenden Transformation, ansonsten kann das in der Europäischen Union beschlossene Ziel der Klimaneutralität bis 2050 nicht erreicht werden. Die Herausforderungen sind vielfältig, ebenso die Lösungsansätze, die untersucht und aktuell diskutiert werden. Ein wichtiger Ansatz ist die konsequente Umsetzung der Prinzipien der Kreislauffektivität im Bauwesen. Gefördert durch die Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe (FNR) wurde in dem dreijährigen Forschungsprojekt «Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen (HOLZHYBRID)» der Nachweis für das mehrgeschossige Bauen im urbanen Raum erbracht, dass kreislauffektive Neubauten aus Holz bis zur Hochhausgrenze (Gebäudeklasse 5) möglich sind. Die Bearbeitung erfolgte bis in die Detailtiefe im Maßstab 1:1: architektonisch, (bau)konstruktiv, brand- und wärme-schutztechnisch sowie ökobilanziell.



Abbildung 1: HOLZHYBRID für die Ausbaustufen Parken, Wohnen, Arbeiten, t-lab / Nicolai Becker Images [1]

Am dem Verbundvorhaben waren die folgenden Arbeitsgruppen beteiligt:

Architektur – Prof. S. Birk, Technische Universität München

(bis 03/21: RPTU Kaiserslautern-Landau)

Tragwerk – Prof. Dr.-Ing. J. Graf, RPTU Kaiserslautern-Landau

BIM – Prof. Dr.-Ing. H. Sadegh-Azar, RPTU Kaiserslautern-Landau

Verbindungstechnik – Prof. Dr.-Ing. J. Blaß, Karlsruher Institut für Technologie

Ökobilanzierung – Jun.-Prof. PhD S. Pauliuk, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Brandschutz – Prof. Dr.-Ing. S. Winter, Technische Universität München

Technische Gebäudeausrüstung – Prof. T. Auer, Technische Universität München

## 1. Grundlagen

Die Entwicklung eines kreislaueffektiven, siebengeschossigen Stadtbaukörpers für die Ausbaustufen Parken, Wohnen und Arbeiten haben wir uns in dem Forschungsprojekt zur Aufgabe gemacht. Die Nutzung Parken war nicht aus Begeisterung zum Automobil Gegenstand der Untersuchung, sondern vielmehr aufgrund der aktuellen Fragestellungen hinsichtlich der zukünftigen Um- bzw. Weiternutzung beim Neubau von Quartiersgaragen. Auf der Grundlage realer Planungsbedingungen (gültiges Regelwerk, Richtlinien, Normen etc.) wurden verschiedene Grundrissstypologien erarbeitet, die Nutzungsflexibilität und Veränderbarkeit der Innenraumstruktur zulassen. Nach Festlegung einer beispielhaften Nutzungsverteilung (drei Geschosse Parken, ein Geschoss Arbeiten, drei Geschosse Wohnen) erfolgte die architektonische und baukonstruktive Durcharbeitung der Vertikalerschließung für Autos und Personen, von Hülle, Ausbau und Tragwerk in Abstimmung mit den anderen beteiligten Arbeitsgruppen. Die gewählte siebengeschossige Holzskeletttragstruktur in der Gebäudeklasse 5 bildet die Grundlage der Nutzungsflexibilität und Wiederverwendbarkeit – elementiert, standardisiert und reversibel konstruiert.

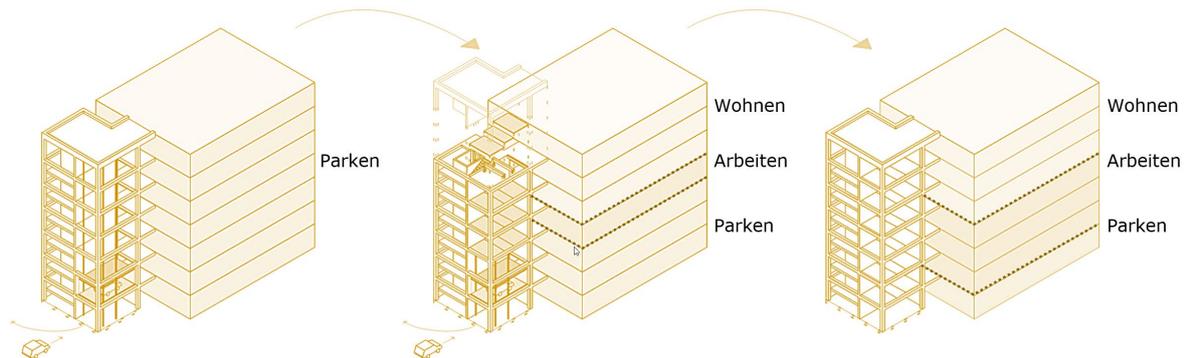


Abbildung 2: Nutzungsflexibilität, t-lab [1]

Als Typologie bestimmend hat sich im Entwurf die Ausbaustufe Parken herausgestellt, vor allem die Gebäudetiefe von 16 m wird durch diese Nutzung definiert: Die erforderliche Fahrgassenbreite beträgt 6 m, die Parkplatztiefe beidseitig der Fahrgasse 5 m. Unter Beachtung eines Bandrasters von 1.25 m und Bänderbreiten in Abhängigkeit der Innenstützen von 40/40 cm bzw. der Außenstützen von 30/40 cm ergibt sich mit dem erforderlichen Einrücken der Innenstützen infolge der Nutzung Parken ein Achsraster von 4.10 / 7.90 / 4.10 m in Querrichtung und ein Achsraster von 5.40 m in Längsrichtung. Die Geschosshöhe des siebengeschossigen Bauwerks beträgt einheitlich 3.60 m. Außerdem wurde die Grundrissfläche auf 400 m<sup>2</sup> beschränkt, um nutzungsflexibel ein Brandabschnitt einzuhalten. Unversetzbare Brandwände für die notwendige Brandanforderung R90 sind im Innenraum nicht erforderlich.

Um den Aufwand des Rück- und Umbaus gering zu halten, wurde auf Rampenbauwerke für die Erschließung verzichtet, stattdessen ein Fahrzeugaufzugssystem gewählt. In konstruktiver Klarheit wurde das Primärbauwerk Holzhybrid (Wohnen, Arbeiten, Parken) als Holztragwerk und räumlich getrennt das Erschließungsbauwerk (Treppenhaus, Personenaufzug, Autoaufzug) als Stahlbetontragwerk entwickelt. Außerdem dient das Erschließungsbauwerk als notwendiges Fluchttreppenhaus der Brandschutzanforderung R90.

## 2. Tragwerk

Der siebengeschossige Holzhybrid ist als kreislaueffektiver Skelettbau aus Furnierschichtholz Buche konstruiert. Die Gebäudeaussteifung erfolgt in Querrichtung über vier stehende Fachwerke in den außenliegenden Seitenfeldern. In Gebäudelängsrichtung erfolgt die Aussteifung geschossweise über die Anbindung des Primärtragwerks an das Erschließungstragwerk. Das Tragwerk ist auf Einzelfundamenten (Mikropfähle oder Bohrpfähle) gegründet. Die Hauptabmessungen des Gesamttragwerks betragen:

- Tragwerksabmessungen (Achismaße):  
Länge / Breite / Höhe (OK Dachebene) = 16.10 m / 21.60 m / 25.20 m
- Grundrissraster in allen Ebenen (Achismaße):  
Querrichtung: 4.10 m / 7.90 m / 4.10 m  
Längsrichtung: 5.40 m
- Geschosshöhe Tragwerk in allen Ebenen: 3.60 m  
mit: Ausbauhöhe Decke in allen Ebenen: 16.20 cm (Bodenaufbau), 40.60 cm (Abhangdecke), Hohlkastendecke 27.40 cm; Gesamtdeckenaufbau 84.20 cm  
mit: Lichte Raumhöhe in allen Ebenen: 2.758 m

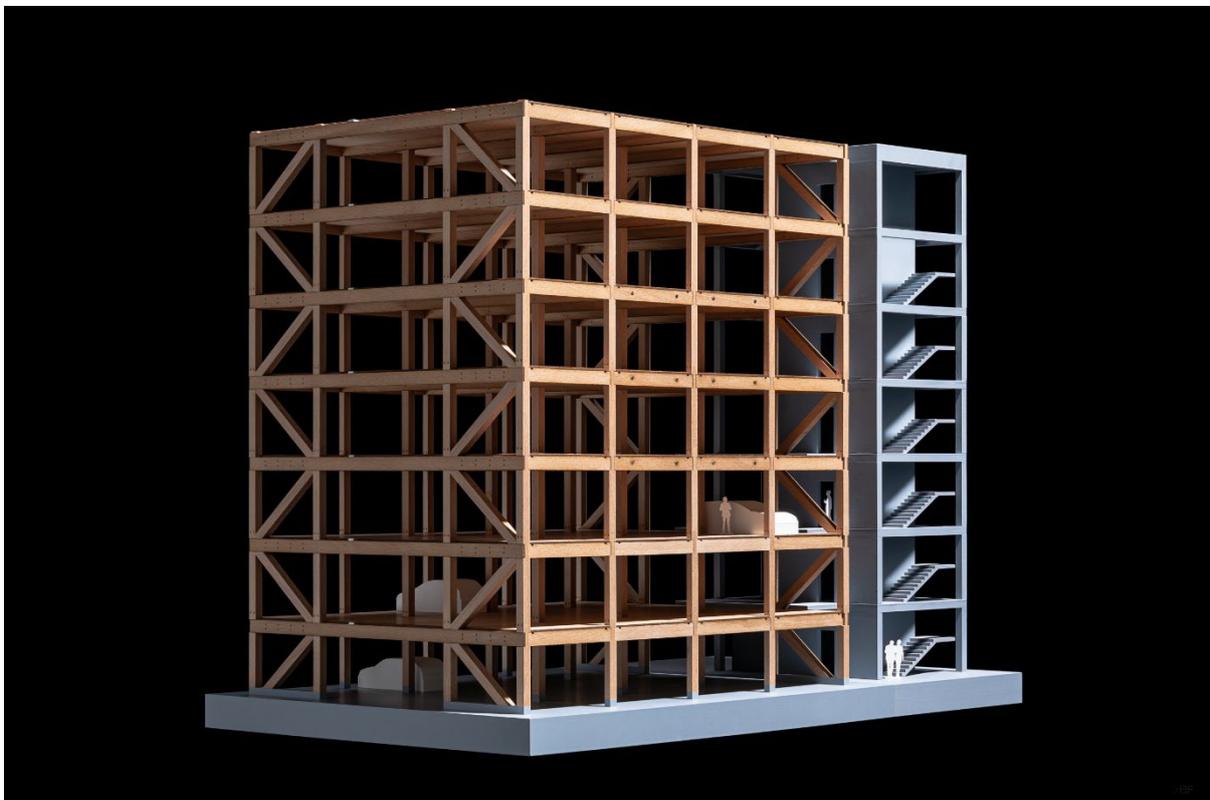


Abbildung 3: Raumgerüst aus Buchenfurnierschichtholz, t-lab [1]

Das Erschließungsbauwerk ist im Forschungsprojekt als Stahlbetonkonstruktion ausgeführt, die tragenden Wände sind 30 cm dick, die Stützen messen 40/40 cm. Das Tragwerk ist auf Einzelfundamenten (Mikropfähle oder Bohrpfähle) gegründet.

Maßgeblich für die Materialwahl waren die brandschutztechnischen Anforderungen an den Flucht- und Rettungsweg. In einem weiterführenden Entwicklungsschritt sollte die Erstellung als Holztragwerk mit acetyliertem Buchenholz untersucht werden. Das Erschließungsbauwerk ist mit Fluchttreppenhaus, Personenaufzug und reversibel eingebautem Autoaufzug flexibel gegenüber den untersuchten Nutzungen des Holzhybrides. Auf den Geschossen ohne, bzw. mit rückgebautem Autoaufzug kann die Fläche als gemeinschaftliche Terrasse in den Ausbaustufen Arbeiten und Wohnen genutzt werden.

### 3. Ausbaustufen

Eine der wesentlichen Herausforderung war es, die lichten Raumhöhen der Ausbaustufen Parken, Arbeiten und Wohnen unter den Anforderungen Brandschutz, Schallschutz (Wohnen und Arbeiten) und Feuchteschutz (Parken) so anzugleichen, dass bei Änderung der Nutzung in einer Geschossebene kein Höhensprung zur Decke des Erschließungsbauwerks entsteht.



Abbildung 4: Umsetzung der Ausbaustufen Parken, Arbeiten und Wohnen, t-lab [1]

#### 3.1. Parken

Die Ausbaustufe Parken ist dadurch geprägt, dass zum einen der Feuchteintrag auf das Grundmodul Deckenelement aus Furnierschichtholz Buche durch die Autos verhindert wird (Dauerhaftigkeit der Holzkonstruktion durch Primär- und Sekundärabdichtungen), zum anderen Fahrbahn und Parkplätze geneigt eingebaut werden müssen, um das kontrollierte Abfließen des Feuchteintrags zu gewährleisten. Randbedingung war außerdem die Ausbauhöhe, die sich an den Ausbaustufen Wohnen und Arbeiten orientieren musste. Im Ergebnis wurde ein Parkdeck aus reversibel gefügten, elementierten und standardisierten, 60 mm dicken CPC-Platten entwickelt, die entlang der Querrichtung des Bauwerks in den Stützenachsen Hochkanten und mittig zwischen den Stützenachsen Tiefkanten ausbilden. Im Falle einer Umnutzung zu Arbeiten oder Wohnen können die CPC-Platten als Estrichersatz kreislauffeffektiv genutzt werden.

#### 3.2. Arbeiten

Die Ausbaustufe Arbeiten ließ sich im Ergebnis in unterschiedlichen Varianten in dem definierten Raumgerüst abbilden. Die aus dem Parken resultierende Gebäudetiefe konnte sinnfölig genutzt werden. Die Erfüllung der Technischen Regeln für Arbeitsstätten hat sich als wesentlich für die Geschosshöhen erwiesen (Lichte Raumhöhe  $\geq 2.75$  m).

#### 3.3. Wohnen

Für die Ausbaustufe Wohnen stellt sowohl die Gebäudetiefe als auch die vertikale Leitungsführung eine Herausforderung dar. Im Ergebnis hat dies zu alternativen Wohnformen mit privaten Räumen und Gemeinschaftsflächen geführt. Andere Wohnformen sind grundsätzlich möglich, diese wurden in Varianten untersucht.

## 4. Kreislauffähigkeit

Neben der Anforderung der Langlebigkeit, welche durch die Nutzungsflexibilität erfüllt wird, stand die vollständige Kreislauffähigkeit des Primärtragwerks im Vordergrund. Diese wird maßgeblich durch eine zerstörungsfreie Rückbaubarkeit (Reversibilität) elementierter und standardisierter Baukomponenten und Bauelemente der Tragstruktur erreicht. Daher lag der Fokus der Arbeitsgruppe von Prof. Dr.-Ing. J. Graf auf der Erforschung weniger Grundelemente der Tragstruktur, die bis in den Maßstab 1:1 ausführungsfähig entwickelt wurden. Der Skelettbau selbst besteht im Ergebnis daher neben dem Aussteifungssystem kreislauffähig aus vier konstruktiven Grundelementen: Hohlkastendecke, Zangenträger, Stützen und Randriegel. Sonderelemente werden an den vier Außenseiten des Bauwerks erforderlich. Die Randriegel dienen der Anbindung der reversibel gestalteten Außenwandbauteile sowie als Teil der aussteifenden Decken.

Die Hohlkastendecke lagert in Anlehnung an die Plattformbauweise auf den Zangenträgern auf. Die Zangen werden seitlich in die als Federn über den Deckenaufbau durchgehenden Stützen eingelegt und formschlüssig lagefixiert. Die einzelnen Geschosslasten werden dadurch über Querdruck der Zangen auf den Stützen abgeleitet. Die in konstruktiver Klarheit direkt übereinanderstehenden Stützen sind oben mit Federn und unten mit Nuten ausgebildet. Die Geschosslasten der darüberliegenden Geschosse werden so direkt über Längsdruck, also dem Hirnholzkontakt der Nuten auf den Federn, übertragen. Über alle Geschosse hinweg werden die Geschosslasten durch die übereinander angeordneten Stützen bis in die Fundamentierung abgeleitet. Die Abmessungen der konstruktiven Grundelemente betragen:

- Standard-Hohlkastendecke: Konstruktionshöhe = 274 mm; Spannweite (Achismaß): 5.40 m; Konstruktionsbreite: 1.80 m  
Obere Platte: 40 mm; Steg 80/200 mm; Untere Platte 40 mm
- Zangenträger: 2 x 110/580 mm
- Stützen: Außenstütze 300/400 mm; Innenstütze 400/400 mm
- Randriegel: 160/640 mm

Die zerstörungsfreie Rückbaubarkeit wird durch formschlüssige Verbindungen erreicht. Das sind vor allem Konusdübel aus Kunstharzpressholz sowie Längsschubverbinder aus Furnierschichtholz Buche. Beide Verbinder werden auf Abscheren beansprucht und durch Stahlschrauben, die in Einschraubmuffen fixiert sind, reversibel lagegesichert.

## 5. Ökobilanzierung

Der Holzhybrid wurde von der Arbeitsgruppe Jun.-Prof. PhD S. Pauliuk einer normgerechten Lebenszyklusanalyse unterzogen und anschließend mit einer Stahlbetonskelettkonstruktion verglichen. Es zeigt sich, dass bezogen auf das Treibhauspotential die Materialauswahl entscheidend ist. Auch die Nutzungsflexibilität spielt bezogen auf das Treibhauspotential eine große Rolle. Durch eine reversible Bauweise können hier nur geringe zusätzliche Einsparungen erzielt werden, da jene Bauteile, die gut rückbaubar sind, meist aus Holzprodukten bestehen und somit sowieso wenig CO<sub>2</sub> emittieren. In Summe können für den Siebengeschosser durch die Indikatoren Holz statt Stahlbeton, Nutzungsflexibilität statt Abriss und Wiederverwendung von Bauelementen statt Deponierung bis zu 60% Treibhausgase eingespart werden. Nutzungsflexibilität und Rückbaubarkeit mit anschließender Wiederverwendung führen außerdem dazu, ressourceneffizient beim Rohstoff Holz bis zu 66% einzusparen.

Das heißt, im Gebäudesektor können große Mengen CO<sub>2</sub> und Ressourcen eingespart werden, indem Holz kreislauffähig eingesetzt wird. Und der dadurch steigende Druck auf die Wälder (Waldflächenfußabdruck) kann effektiv mit nutzungsflexiblen Grundrissen und Geschosshöhen sowie reversiblen Konstruktionen abgemildert werden.

## 6. Literaturverzeichnis

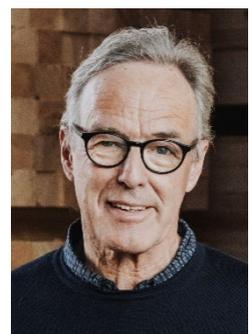
- [1] Graf, J.; Birk, S. et al. (2022) Schlussbericht Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.
- [2] Musterbauordnung (MBO) Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 25.09.2020
- [3] Technische Regeln für Arbeitsstätten, Raumabmessungen und Bewegungsflächen ASR A1.2, Ausgabe: September 2013, zuletzt geändert GMBI 2022, S. 241
- [4] Muster-Garagenverordnung M-GarVO, Fassung vom Mai 1993, geändert durch Beschlüsse vom 19.09.1996, 18.09.1997 und 30.05.2008
- [5] Empfehlungen für die Anlagen des ruhenden Verkehrs EAR 05, Ausgabe 2005
- [6] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL), Fassung Juni 2021

**Block A4**  
**Die Gebäudehülle: Konstruktiv –**  
**Funktional – Gestalterisch**



# Holzfassade und Architektur

Univ.-Prof. Arch. DI Hermann Kaufmann  
Hermann Kaufmann + Partner ZT GmbH  
Schwarzach, Österreich





# Holzfassade und Architektur

Holzfassaden liegen im Trend, die Tendenz für die nächsten Jahre ist steigend. Aber kaum etwas polarisiert in der Diskussion über Holzbau mehr, wie die Holzfassade, denn wer mit Holz arbeitet, weiß, dass dieser Werkstoff lebt. Auch lange nachdem der Baum zu Brettern gesägt, die Bretter zur Fassade verbaut wurden, quillt und schwindet, vergraut das Holz. Für die einen der Inbegriff an Schönheit und Lebendigkeit, für die anderen hässlich, fleckig, vergänglich und billig.

Beide Positionen sind mit Beispielen belegbar, was zeigt, dass man auch hier etwas falsch, aber auch richtig machen kann. Das Wesen einer naturbelassenen Holzfassade ist ihre Veränderbarkeit. Es ist unumgänglich, diese mit in das Gestaltungskonzept sowie die Detailentwicklung einer Fassade einzubeziehen. Das braucht einiges an Befassung und Beobachtung und regionale Eigenheiten machen Planungsregeln und Prognosen sehr schwer. Historische Beispiele sind wunderbare «Vorlagen» dafür. Der jeweils auf den Ort bezogene konstruktive Holzschutz beeinflusst dabei das Gesicht des Gebäudes, die spezifische Physionomie ermöglicht meist eine exakte regionale Zuordnung. Diese historisch gewachsene Differenzierung ist ein Fundus der vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten von Holzfassaden. Die Moderne dagegen ist «glatter» geworden. Die Reduktion der Profilierungen reduziert den spezifischen Ausdruck, dennoch vermag oft lediglich die Struktur einer Verschalung ein lebendiges Erscheinungsbild entstehen. Das ist der Reiz des Materials Holz, dass auch trotz Reduktion eine Nahbarkeit möglich ist.

Aus meiner langjährigen Befassung mit dem Thema werde ich versuchen, Veränderungsprozesse zu dokumentieren und Schlüsse daraus zu ziehen. Ebenfalls interessant scheint mir zu sein, dass Farbe im Zusammenhang mit Holzfassaden eine wirkliche Bereicherung ist und das Anwendungsgebiet stark erweitert. Aus der Geschichte der Holzfassaden ist die farbige Beschichtung nicht wegzudenken, auch in der modernen Architektur scheint sie wieder stark an Bedeutung zu gewinnen.

Architekten befassen sich mehr und mehr mit der Schönheit der Vergänglichkeit. In Japan gibt es dafür gar einen eigens kreierte Begriff: Wabi-Sabi – die Akzeptanz der Vergänglichkeit. Und welches Material würde dieser Haltung besser entsprechen als Holz, das sich bewegt, lebt und dessen unregelmässige Maserung charakteristisch für den Werkstoff ist.

Um die Verwitterung von Fassaden zukünftig besser zu planen, müssen Architekten und Holzbauer den Prozess beobachten und sich auch mit den regionalen Eigenheiten befassen. Ich habe den Veränderungsprozess zahlreicher meiner Bauprojekte dokumentiert. Ich bin überzeugt: «Das Wesen einer naturbelassenen Holzfassade ist ihre Veränderbarkeit. Es ist unumgänglich, diese mit in das Gestaltungskonzept einer Fassade einzubeziehen.»

Jede Holzart verwittert unterschiedlich und die Umgebung beeinflusst den Prozess zusätzlich. Eine Holzfassade in Seenähe ist einer hohen Feuchtigkeit ausgesetzt, im Gegensatz zu einer Almhütte, die aber extremen Wetterverhältnissen zu trotzen hat. Um die Fassade bei einem Rückbau wieder in den natürlichen Kreislauf zurückzuführen, verzichte ich wenn immer möglich darauf, das Holz chemisch zu behandeln und setze deshalb auf konstruktiven Holzschutz. In der Präsentation wird sichtbar, dass vermeintlich nebensächliche Details den Verwitterungsprozess deutlich beeinflussen und dass Schutzvorrichtungen nicht immer das gewünschte Resultat bringen. Bei einer Wohnanlage in Hard (AT) bestand die Bauherrschaft auf geschoßweise Vordächer, zum Schutz der Lärchenfassade. 16 Jahre später zeigt sich die Fassade fleckig vergraut. Anders steht eine Schutzhütte in den Tiroler Alpen beispielhaft für das japanischen Verständnis von Schönheit ‚Wabi-Sabi‘: 2007 erbaut, ist die Schindelfassade aus hellem Fichtenholz über die Jahre gleichmäßig vergraut und verschmilzt mit der alpinen Landschaft – wie ein weiterer Felsen vor dem Gipfel.



### Wohnanlage Ölzbündt Dornbirn - 1996 und 2019

1996 wurde das Wohnhaus in Dornbirn (AT) erbaut. Vordächer schützen die Fassade vor der Witterung.

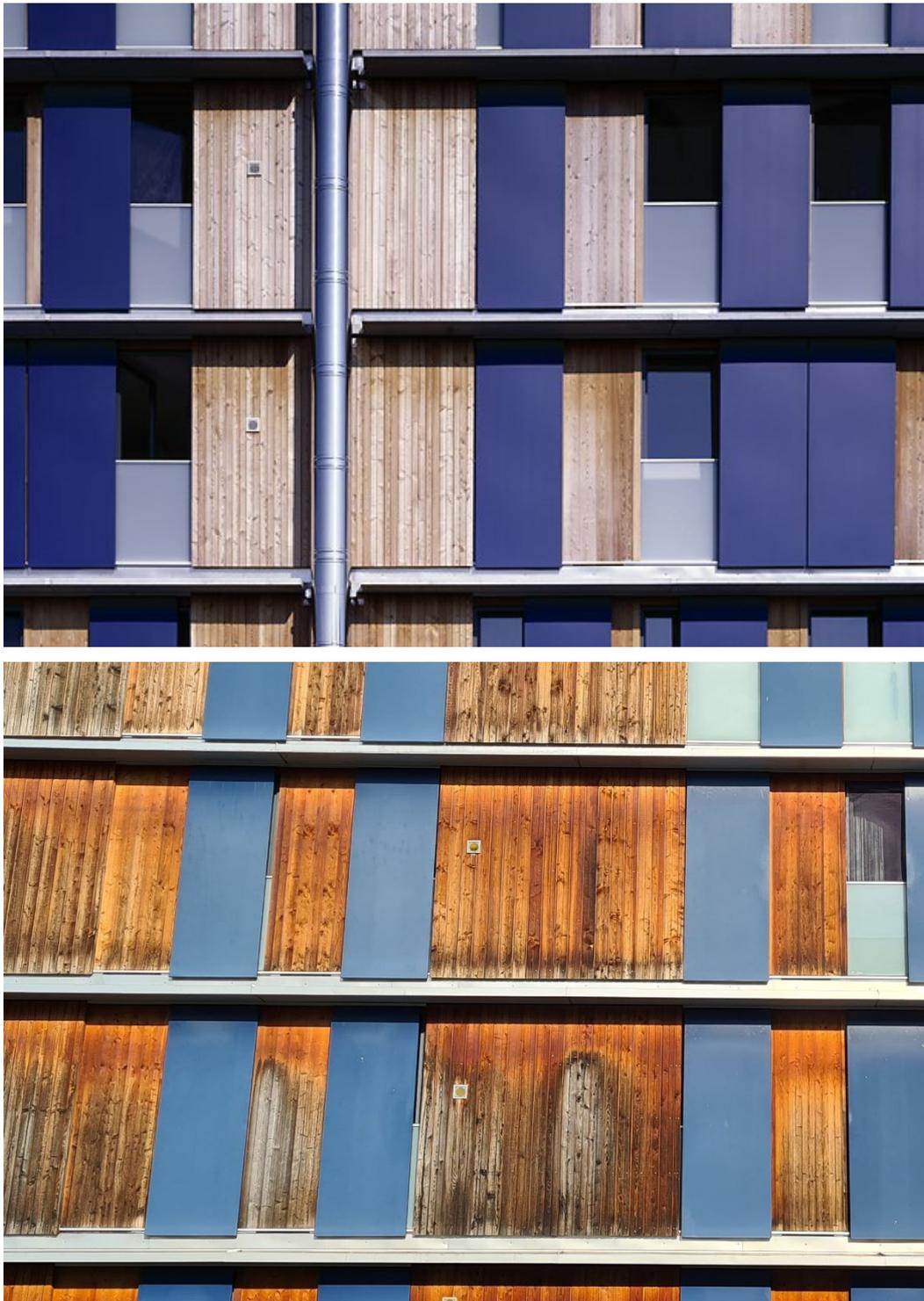
Die Stülpschalung aus unbehandeltem Lärchenholz hat sich über die letzten 22 Jahre gut gehalten.



### Raiffeisenbank Mittelbregenzerwald Egg - 2010 und 2019

Die Schindelfassade aus Fichtenholz ist nicht hinterlüftet – bei einem Holzbau ist das nicht nötig.

Innerhalb von neun Jahren ist die Fassade gleichmässig vergraut.



### Wohnanlage Hard - 2003 und 2021

Schützen sollten die Vordächer die Fassade aus Lärchenholz. Stattdessen haben diese eine ungleichmässige Verwitterung verursacht. «Heute würden wir das anders machen».



### Olpererhütte Tirol - 2007 und 2019

Eine Schindelfassade aus Lärche umkleidet die Tiroler Schutzhütte auf 2388 Meter über Meer. Mit der vergrauten Fassade passt der Bau heute noch besser in die Umgebung – wie ein «hölzerner Fels» in der Landschaft.



### Sutterlüty Markt Weiler - 2002 und 2019

Ein Lebensmittelmarkt mit einer Fassade aus Akazienholz. Ein sehr bewegtes Holz, weshalb kurze Bretter eingesetzt sind, die von bündigem Querholz unterteilt sind. Gleichmässig ist die Fassade ergraut und hat eine eigene Textur.

# Planung und Konstruktion von Holzfassaden

Dr.-Ing. Heinz Pape  
bauart Konstruktions GmbH & Co. KG  
Lauterbach, Deutschland





# Planung und Konstruktion von Holzfassaden

## 1. Einleitung

Die Planung und Ausführung von Fassaden bedarf einer großen Sorgfalt. Das Zusammenspiel der verschiedenen Materialien muss bei der Planung berücksichtigt werden. Dies gilt nicht nur für spektakuläre Systeme aus Glas und Stahl, sondern ebenso für die vermeintlich einfachen Fassaden in Holzbauweise.

Immer umfangreichere Anforderungen aus Gesetzen, Normen, Richtlinien sind zu berücksichtigen. Umso wichtiger ist es, dass die Planer auf standardisierte und abgestimmte Lösungen zurückgreifen können.

Bereits vor mehr als 20 Jahren wurden nichttragende Außenwände in Holztafelbauweise in Verbindung mit Stahlbetonbauwerken eingesetzt. In der Regel handelte es sich dabei um mehrgeschossige, hochenergieeffiziente Wohngebäude, die meist auch den Passivhausstandard erfüllten.

In den letzten Jahren hat sich diese Bauweise kontinuierlich weiterentwickelt und wird in der Literatur als Hybridbauweise mit Holzaußenwänden bzw. mit Fassadenelementen in Holztafelbauweise bezeichnet.

Trotz der aktuellen Baupreissituation ist diese Bauweise wirtschaftlich und erfüllt bei einer fachgerechten Planung die Ansprüche eines ressourcenschonenden und nachhaltigen Bauens.

## 2. Anforderungen

Die Anforderungen an eine Holzaußenwand in der Hybridbauweise erscheinen zunächst recht einfach, sind aber im Detail durchaus komplex.

Die Konstruktion betreffend sind Anforderungen an die Standsicherheit, den Brandschutz, den Wärmeschutz und den Schallschutz umzusetzen.

Neben den technischen Anforderungen sind die Planer auch angehalten, ressourcenschonend und materialoptimiert zu planen.

### 2.1. Tragwerksplanung

Bei der Hybridbauweise beteiligen sich die Holztafelelemente weder am vertikalen Lastabtrag noch wirken sie bei der Aussteifung des Gebäudes mit.

Die Holztafelelemente werden horizontal von außen auf Windsog und -druck beansprucht. Ebenso übernimmt die Wand von innen die Funktion der Absturzsicherung.

Vertikal wird die Wand nur durch ihr Eigengewicht beansprucht.

Im Brandfall ist zu berücksichtigen, dass die Außenwände oberhalb bzw. unterhalb des Brandgeschosses noch ausreichend sicher verankert sind.

In Abbildung 1 sind verschiedene Anschlussvarianten der Holztafelelemente an die Massivkonstruktion dargestellt.

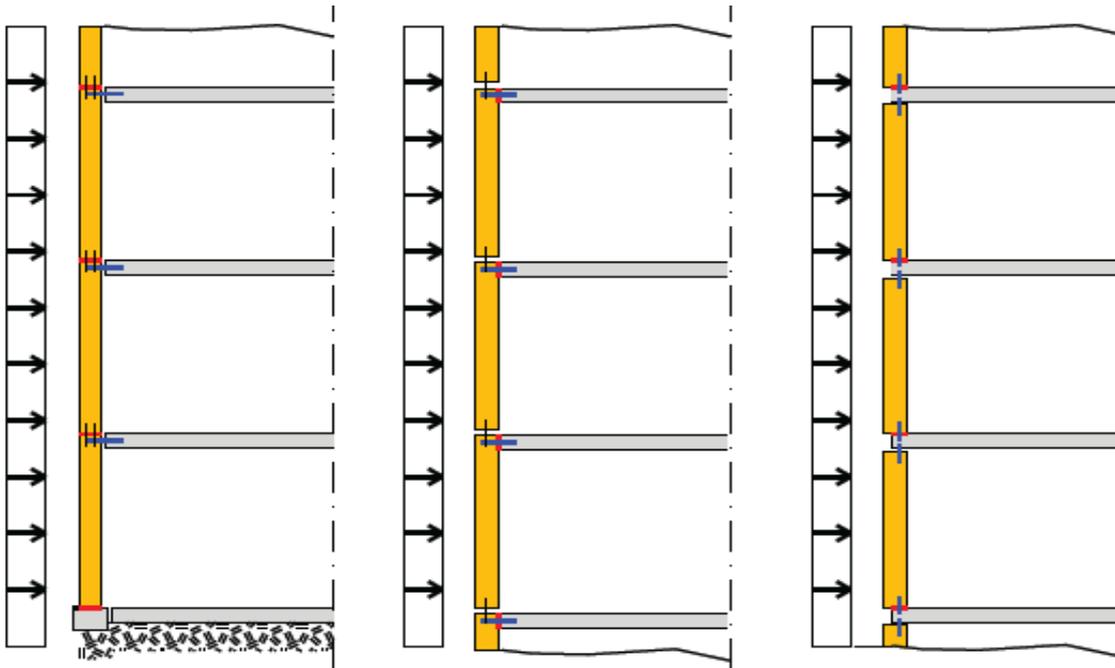


Abbildung 1: Anschlussvarianten der Außenwand an die Massivkonstruktion

In der Regel werden die horizontalen Lasten an den Verankerungspunkten geschossweise in die Stahlbetondecken weitergeleitet.

Je nach Ausführung werden die vertikalen Lasten ebenfalls geschossweise in die Deckenrandstreifen der Stahlbetondecke eingeleitet oder aber, wie bei der Variante der vorgestellten Außenwand, konzentriert am Fußpunkt der Wand des untersten Geschosses.

Die statischen Nachweise für die Außenwand selber und auch die Nachweise für die Anschlüsse sind mit den üblichen bekannten Nachweisverfahren zu führen.

Für die konstruktive Durchbildung der Anschlüsse sind die vertikalen Verformungen der Stahlbetondecke im Anschlussbereich von großer Bedeutung.

Es sind die Verformungen unter Ansatz der quasi ständigen Lasten, unter Berücksichtigung des Langzeitverhaltens des Betons (Kriechen und Schwinden) und im sogenannten Zustand II (gerissener Beton) zu ermitteln.

Die Anschlüsse zwischen der Holztafelbauwand und der Stahlbetondecke sind dann so auszubilden, dass infolge der vertikalen Deckenverformung die Holztafelbauwand keine Beanspruchung erfährt.

In der Abbildung 2 ist die Thematik grafisch dargestellt.

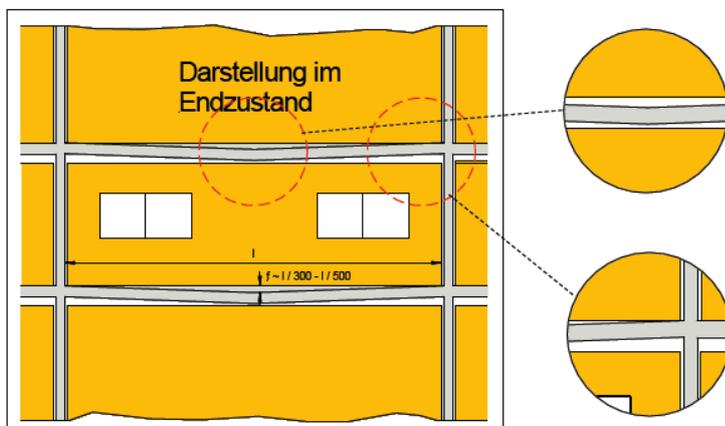


Abbildung 2: Deckenverformungen in Bezug auf die Außenwand

## 2.2. Wärmeschutz und Feuchteschutz

Die Anforderungen des Wärme- und Feuchteschutzes an eine Holzaußenwand in Verbindung mit der Hybridbauweise unterscheiden sich nicht von denen einer tragenden Außenwand in einem Gebäude, welches vollständig in Holzbauweise errichtet wird.

Bewährte Regeldetails zum Einbau der Fenster oder auch zur Integration von Verschattungselementen sind hinlänglich bekannt. Gleiches gilt für die Ausbildung einer luft- und winddichten Gebäudehülle.

Grundsätzlich ist die Konstruktion der Außenwand so auszubilden, dass im Bereich der Stirnseiten der Stahlbetondecken keine kritische Wärmebrücke entsteht.

Bei den Anschlussvarianten (s. Abbildung 1), bei denen die Außenwand vor der Stahlbetondecke positioniert wird, kann es zielführend sein, den Geschossstoß der Außenwand außerhalb der Deckenstirnseite anzuordnen. Bei der eingestellten Anschlussvariante ist darauf zu achten, dass noch ausreichend Dämmung vor der Betondecke vorhanden ist.

## 2.3. Brandschutz

Die nichttragenden Außenwände sind gemäß den Anforderungen der Landesbauordnungen bis zur Gebäudeklasse 5 in F30-B bzw. feuerhemmend (EI-30) auszubilden.

Die eigentliche Außenwand betreffend werden diese Anforderungen in der Regel systemimmanent erreicht. Weiter ist zu berücksichtigen, dass die Oberfläche der Außenwände in den Gebäudeklassen 4 und 5 aus schwer entflammaren Baustoffen (B1) bestehen muss. Ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aus Polystyrol erfüllt bis zu einer gewissen Dämmdicke diese Anforderungen, wenn gemäß den jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassungen der Systeme ein Brandriegel aus Mineralwolle integriert wird. Ohne die Brandriegel ist ein solches WDVS als B2 klassifiziert und kann dann bis zur Gebäudeklasse 3 ausgeführt werden.

Die Fassade der Holztafelbauelemente kann somit bis zur Gebäudeklasse 3 mit Holz- und Holzwerkstoffen ausgebildet werden. Eine Holzfassade in den Gebäudeklassen 4 und 5 kann nur dann realisiert werden, wenn durch zusätzliche Maßnahmen die Brandweiterleitung über die Fassade verhindert wird. Auch hier gibt es umfassende Forschungsergebnisse, aus denen Konstruktionsprinzipien von Brandbarrieren abgeleitet wurden.

Um die baurechtliche Verwendbarkeit zu erlangen, sind im Zuge des Genehmigungsverfahrens entsprechende Abweichungen zu formulieren und zu begründen.

Über entsprechende Abweichungen können auch bei Gebäuden über die Hochhausgrenze Holztafelbauelemente als nichttragende Außenwände eingesetzt werden. Es sind dann die besonderen Regeln der Hochhausrichtlinie zu berücksichtigen und die Wände beidseitig brandschutztechnisch wirksam zu beplanen.

Aber wie so oft bei neueren Bauweisen steckt die Problematik im Detail. Die Ausbildung der Fugen zwischen dem Holztafelelement und dem Stahlbetonbauteil, egal ob Decke, Wohnungstrennwand oder Brandwand, sind besonders auszubilden, um eine Brandweiterleitung in andere Nutzungseinheiten ausreichend lange zu verhindern.

Die Abbildung 3 zeigt die kritischen Brandwege im Bereich der Bauteilanschlüsse.

Bereits in früheren Jahren wurden diese Anschlussbereiche mit Mineralwolle bestmöglich «ausgestopft». Zwischenzeitlich gibt es auch Forschungsergebnisse, die die Funktionalität belegen. Die Forschungsergebnisse zeigen aber auch, dass zusätzliche Maßnahmen zur Gewährleistung der Rauchdichtigkeit erforderlich werden.

Aus diesen Erkenntnissen wurden Konstruktionsdetails abgeleitet, bei deren Umsetzung alle Schutzziele des Brandschutzes erreicht werden.

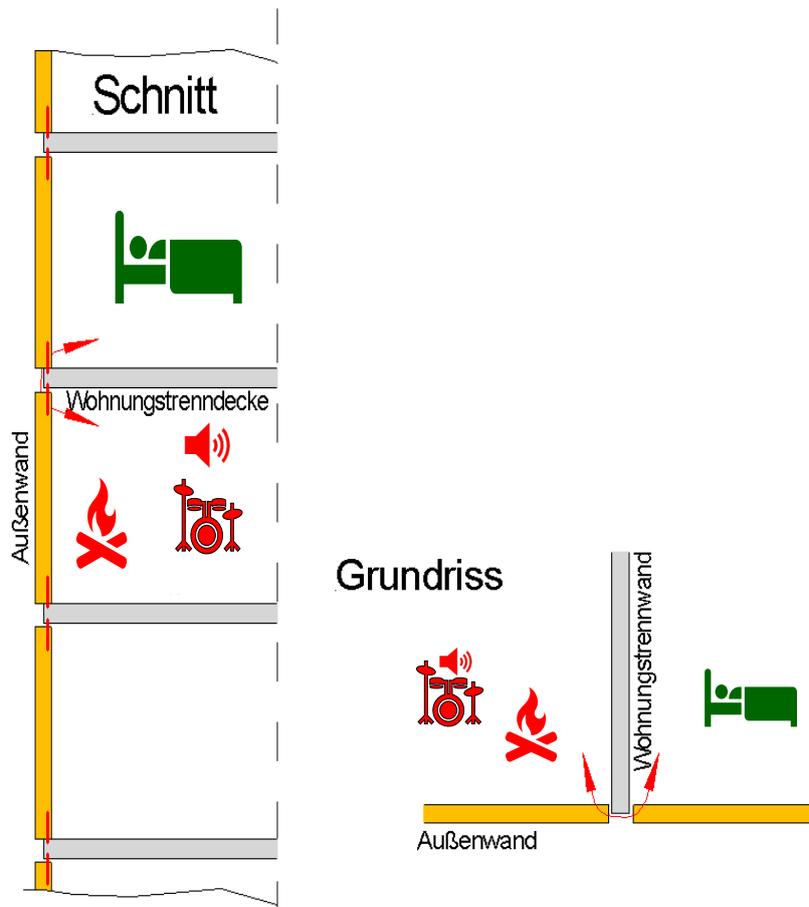


Abbildung 3: Brandwege und Schallnebenwege im Anschlussbereich

## 2.4. Schallschutz

Die Thematik bezüglich Außenwandkonstruktion und Anschlussfuge an den Massivbau ist vergleichbar zum Brandschutz.

Auch hier sind die Schallschutzeigenschaften der Außenwand allgemein bekannt und können auch berechnet werden.

Eine Bewertung der Schallnebenwege war lange Zeit nicht gesichert möglich, da nicht ausreichend Versuchsergebnisse vorgelegen haben. Auch hier kann nun der Planer auf Messergebnisse für die unterschiedlichsten Fugenausbildungen zurückgreifen und somit die entsprechenden Norm-Flankenschallpegeldifferenzen  $D_{n,f,w}$  in den Schallschutznachweisen berücksichtigen.

### 3. Literatur und Konstruktionsdetails

Zahlreiche Forschungsvorhaben auf dem Gebiet des Hybridbaus mit Holzaußenwänden wurden in den letzten Jahren abgeschlossen. Die Ergebnisse sind veröffentlicht und es wurden Regeldetails und Konstruktionshilfen entwickelt (s. u).

Die Planer und ausführenden Holzbaubetriebe können nun auf standardisierte Konstruktionen und Detailausbildungen zurückgreifen, die auch alle baurechtlichen Anforderungen erfüllen.

Forschungsberichte und Literaturquellen:

- Abschlussbericht «Fassadenelemente für Hybridbauweisen; Vorgefertigte, integrale Fassadenelemente in Holzbauweise zur Anwendung im Neubau hybrider Stahlbetonhochbauwerke». TU München, LS für Holzbau und Baukonstruktion; Lehrstuhl für energieeffizientes Planen und Bauen, Lehrstuhl für Massivbau. Laufzeit: Febr. 2014 bis Sept. 2016. [www.hybridbauweisen.de](http://www.hybridbauweisen.de) ([kostenloser Download](#))
- «Konstruktionskatalog Fassadenelemente für Hybridbauweisen». TU München, LS für Holzbau und Baukonstruktion; Lehrstuhl für energieeffizientes Planen und Bauen, Lehrstuhl für Massivbau. 2016. [www.hybridbauweisen.de](http://www.hybridbauweisen.de) ([kostenloser Download](#))
- Fischer, O.; Lang, W.; Winter, S.: «Hybridbau - Holzaußenwände». Verlag: DETAIL Business Information GmbH, München. ISBN 978.3.95553-478-3 (Print), 978-3-95553-479-0 (E-Book). 2019

### 4. Ausblick

Die Nachfrage nach bezahlbarem Wohnraum in Ballungszentren beschäftigt Politik, Bau- und Wohnwirtschaft.

Viele Ansätze wurden bereits diskutiert. Aber wie so häufig bei komplexen Aufgaben gibt es nicht die einzig richtige Lösung.

Eines aber ist sicher: Einfach nur billig bauen ist der falsche Weg. Dies zeigen zahlreiche Gebäude aus der Nachkriegszeit, die noch ganze Stadtviertel prägen und Genossenschaften und Wohnungsbaugesellschaften anhaften.

Hybrides Bauen wird dabei eine bedeutende Rolle einnehmen. Auch die werkseitige Vorfertigung einzelner Komponenten wird weiter an Bedeutung gewinnen. Sowohl Bauherren als auch alle an der Planung Beteiligten müssen sich auf diese neuen Herausforderungen einlassen. Ein «haben wir schon immer so gemacht» wird nicht die Zukunft des Bauens sein. Die Hybridbauweise mit nichttragenden Außenwänden in Holztafelbauweise hat eine große Chance, sich als anerkannte Bauweise effektiv und effizient im Markt zu etablieren. Sie ist ein wichtiger Beitrag zu einem nachhaltigen und ressourcenschonenden Bauen.



# Fassadenintegrierte Haustechnik für die Sanierung

Fabian Ochs  
Universität Innsbruck  
Innsbruck, Austria

Willam Monteleone  
Universität Innsbruck  
Innsbruck, Austria



# Fassadenintegrierte Haustechnik für die Sanierung

## 1. Einleitung

### 1.1. Dekarbonisierung des Gebäudesektors

In der Europäischen Gebäuderichtlinie (EPBD) 2018/844 [1] wurde das Engagement der Europäischen Union (EU) für die Entwicklung eines nachhaltigen, sicheren und dekarbonisierten Energiesystems sowie eine vollständige Dekarbonisierung des Gebäudebestands bis 2050 verankert. Die Neufassung der EPBD weist auch darauf hin, dass die EU-Mitgliedsländer im Rahmen der Nationalen Energie- und Klimapläne (NEKP) nationale Gebäudesanierungs-Strategien einschließlich Fahrplänen für den Ausstieg aus fossilen Systemen zur Wärme- und Kälteversorgung bis spätestens 2040 vorlegen sollen. Um die vollständige Dekarbonisierung des Gebäudesektors zu erreichen, ist eine Erhöhung der jährliche Renovierungsrate auf etwa 3 % (im Vergleich zu den derzeitigen etwa 1 %) sowie eine kostengünstige Umwandlung bestehender Gebäude in Niedrigstenergiegebäude (nZEBs) erforderlich [2, 3]. Unabhängig davon, wie ein (netto) CO<sub>2</sub>-neutrales Energiesystem in der Zukunft realisiert wird, besteht kein Zweifel daran, dass Wärmepumpen eine entscheidende Rolle bei einer nachhaltigen und effizienten Wärmeversorgung von Gebäuden spielen werden [4]. Eine der größeren Herausforderungen bei der Transformation des Gebäudebestands sind die Mehrfamilienhäuser, insbesondere in innerstädtischen hochverdichteten Gebieten [5].

Die sog. serielle Sanierung [6] mit vorgefertigten Fassadenelementen, wie in Abbildung 1 beispielhaft gezeigt wird von vielen als ein notwendiger Schritt gesehen, um die Sanierungsrate auf das notwendige Niveau von etwa 3 % zu heben.



Abbildung 1: Beispiel einer seriellen Sanierung mit vorgefertigter Holzfassade (Quelle: EU Fp7 Projekt Inspire), siehe auch [6]

### 1.2. Stand der Technik und Problembeschreibung

Ein bedeutender Anteil der Mehrfamilienhäuser wird wohnungsweise dezentral mit Gasetagenheizungen – häufig Durchlauferhitzer, teilweise Speichersysteme – beheizt [5]. Bei der Sanierung solcher Mehrfamilienhäuser ist eine vollständige Modernisierung des Heizungssystems und Umstellung auf ein zentrales System häufig nicht möglich. Technisch-ökonomische Gründe aber auch nicht-technische Gründe stehen dem entgegen: hohe Investitionskosten und hoher Aufwand in der Wohnung im bewohnten Zustand, fehlende Zustimmung der Mieter\*innen, geringe Effizienz durch hohe Verteilverluste und hohe Systemtemperaturen, Mangel an Platz für die Aufstellung der zentralen Wärmepumpe, Quellenerschließungsproblematik, Schallemissionen, etc.. Die durchschnittliche

Wohnungsgröße beträgt in etwa 50 m<sup>2</sup> bis 70 m<sup>2</sup>, ein Technik- bzw. Hauswirtschaftsraum ist typischerweise nicht vorhanden.

Bei der Zentralisierung der Heizung wird entsprechend häufig für die Trinkwarmwassererwärmung auf ineffiziente E-Boiler zurückgegriffen.

Der europäische Markt bietet derzeit unterschiedliche alternative wärmepumpenbasierte Lösungen für die dezentrale Warmwasserbereitung an [7, 8]:

- Interne Monoblock Wärmepumpe mit integriertem Warmwasserspeicher, Standgerät;
- Interne Monoblock Wärmepumpe mit integriertem Warmwasserspeicher, wandhängend;
- Split-Trinkwarmwasser Wärmepumpe;
- Warmwasser-WP (außenstehend) mit separatem Warmwasserspeicher;
- Rücklauf-Wärmepumpe (in Verbindung mit Zentraler Niedertemperatur-WP);
- Abluft-Wärmepumpe;
- Fortluft-Wärmepumpe in Verbindung mit Lüftung mit Wärmerückgewinnung

TWW-WP sind Prinzip bedingt immer als Speichersysteme ausgeführt. Die aktuell erhältlichen Geräte sind daher überwiegend für den Einsatz in Einfamilienhäusern, oder anderen Anwendungen, in denen ein entsprechender Aufstellraum zur Verfügung steht, vorgesehen. Als häufigste Bauform ist die Monoblock TWW-WP mit integriertem Standspeicher (200 l bis 300 l) vorzufinden. Als Quelle wird Raumluft oder Außenluft genutzt. Bei der Variante Raumluft muss die dem Raum entzogene Energie zusätzlich durch das Heizsystem bereitgestellt werden (Kaskade), bei der Variante Außenluft müssen durch große Kanäle entsprechende Luftmengen erschlossen werden.

Als kompakte Bauformen, die grundsätzlich für Etagenwohnungen geeignet sind, kommen vermehrt wandhängende Lösungen bzw. Split-WP Systeme in Frage. Es sind jedoch aktuell keine Lösungen verfügbar, die in kleine Wohnungen mit typischerweise 50 bis 70 m<sup>2</sup> Platz finden können.

### 1.3. Motivation und Zielsetzung

In diesem Beitrag wird eine Mini-Split Wärmepumpe für die wohnungsweise dezentrale Warmwasserbereitung auf Basis von Propan (R290) als Kältemittel vorgestellt. Diese Split-Wärmepumpe weist als besondere Eigenschaft ein sehr kompaktes Design auf und besteht aus einer attraktiv designten fassadenintegrierten strömungsoptimierten und leisen Außeneinheit (Verdampfer und Ventilator) und einer kompakten Inneneinheit (Speicher- und WP-Einheit). Damit eignet sich diese Wärmepumpe besonders für eine minimalinvasive Sanierung mit vorgefertigten Fassadenelementen im Geschosswohnbau.

Fassadenintegration und Vorfertigung kann den Renovierungsprozess beschleunigen und die Kosteneffizienz steigern, allerdings muss die Zugänglichkeit für Wartungs- und Reparaturzwecke gewährleistet werden. Ein angenehmes architektonisches Erscheinungsbild erfordert einen kompakten Aufbau. Dafür muss der Strömungszustand aufgrund des hohen Einflusses auf den Wirkungsgrad und die Schallemissionen genau untersucht werden.

Auf Basis von Experimenten an Funktionsmustern und CFD-Simulation wird das Design der Außeneinheit mit dem Ziel optimierter Strömungshomogenität für einen geringen Gesamtdruckabfall und Stromverbrauch der Ventilatoren, sowie für reduzierte Schallemissionen ausgewählt. Die Effizienz des Kältekreislaufs wird unter Berücksichtigung der Strömungsbedingungen anhand von Funktionsmustern und durch Kältekreisimulationen bewertet. Die Gesamteffizienz des Systems einschließlich der WP, des Warmwasserspeichers und der Frischwasserstation zur Bereitstellung des Warmwasserbedarfs wird mittels dynamischer Systemsimulation untersucht. Die Ergebnisse der Erprobung eines Prototyps dieser Mini-Split-WP in einem Mock-up wird unter dynamischen Bedingungen in der PAS-SYS Testzelle der Universität Innsbruck überprüft.

Der Entwicklungs- und Optimierungsprozess der Split-WP mit fassadenintegrierter Außeneinheit ist schematisch in Abb. 2 dargestellt

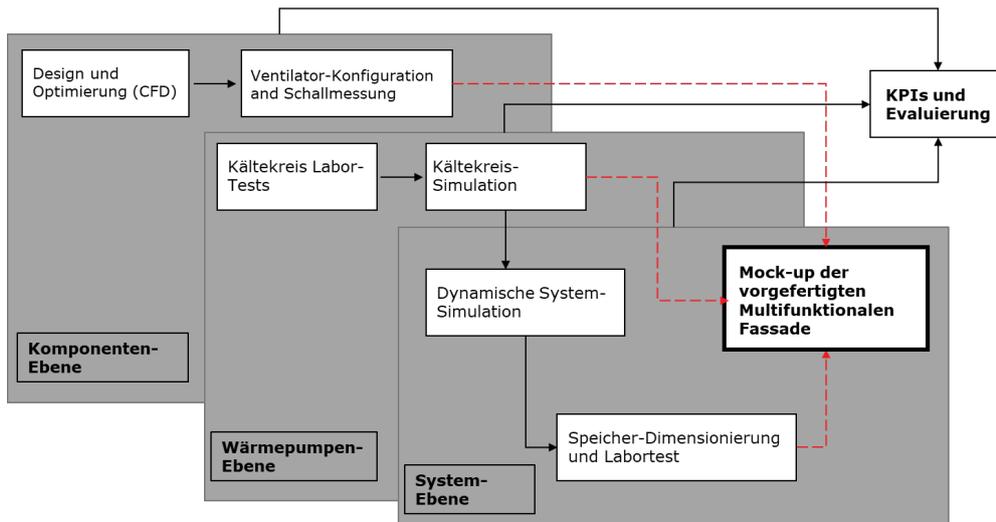


Abbildung 2: Schema des Entwicklungs- und Optimierungsprozesses der Split-Warmwasserwärmepumpe mit fassadenintegrierter Außeneinheit (nach [7])

## 2. Kleinst-Trinkwarmwasser Wärmepumpe mit Fassadenintegrierter Außeneinheit

### 2.1. Konzept

Eine Darstellung des Konzepts der Split-Warmwasserwärmepumpe für Warmwasser und (optional) Raumheizung(sunterstützung) mit fassadenintegrierter Außeneinheit findet sich in Abb. 2. Die thermische Leistung der Wärmepumpe (Kondensator) beträgt bei Normbedingungen 1.5 kW. Der Kältekreis wird mit R290 betrieben, die gesetzliche Anforderung ist eine Kältemittelmenge kleiner 150g bei Innenaufstellung. Die fassadenintegrierte Außeneinheit beinhalten Verdampfer und vier Axial-Ventilatoren. Der Schalleistungspegel ist kleiner 50 dB(A). Das kompakte Innenmodul beinhaltet Warmwasserspeicher, Kompressor und Steuerung. Für die Montage ist ein Kältetechniker notwendig.

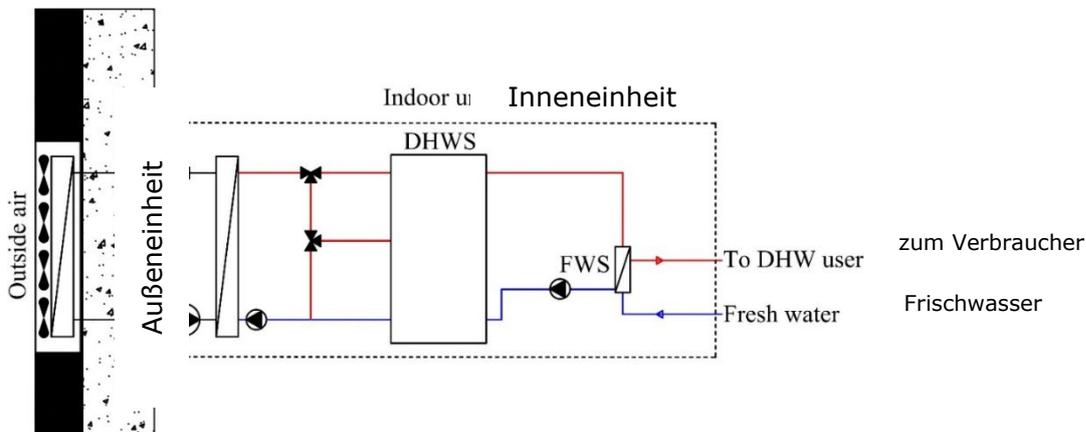


Abbildung 2: Konzept der Split-Warmwasserwärmepumpe mit fassadenintegrierter Außeneinheit

### 2.2. Fassadenintegrierte Außeneinheit

Um ein möglichst kompaktes und attraktives Design zu erreichen, dabei aber durch Strömungsoptimierung maximale Effizienz (d.h. homogene Durchströmung) und minimale Druckverluste (d.h. geringe Stromaufnahme der Ventilatoren und geringe Schallemissionen zu erreichen, wurde verschiedene Ventilator- und Verdampfer-Konfigurationen experimentell und mittels CFD Simulationen untersucht. Abb.3 zeigt beispielhaft Ergebnisse der CFD Simulation zur Strömungsoptimierung.

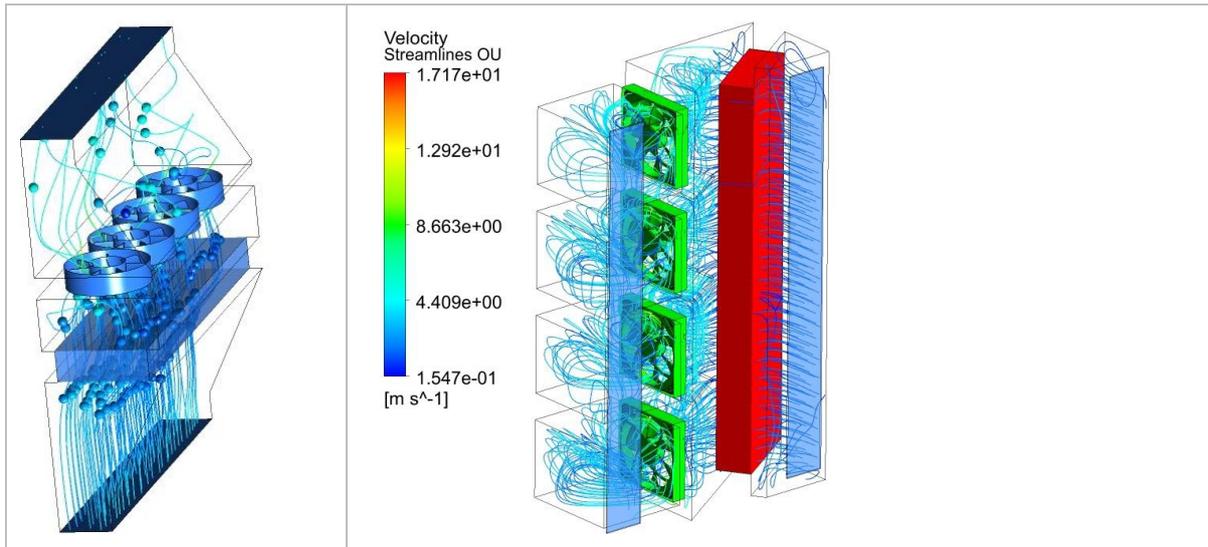


Abbildung 3: Optimierung der Luftführung für reduzierten Stromverbrauch und Minimierung der Schallemissionen durch CFD Simulation (links) Vorstudie, (rechts) aktuelles Design

Der schematische Aufbau und ein Foto des Versuchsaufbaus zur Ermittlung des Druckverlusts und der Ventilatorstromaufnahme für verschiedene Ventilator-Verdampfer-Konfigurationen ist in Abbildung 4 dargestellt.

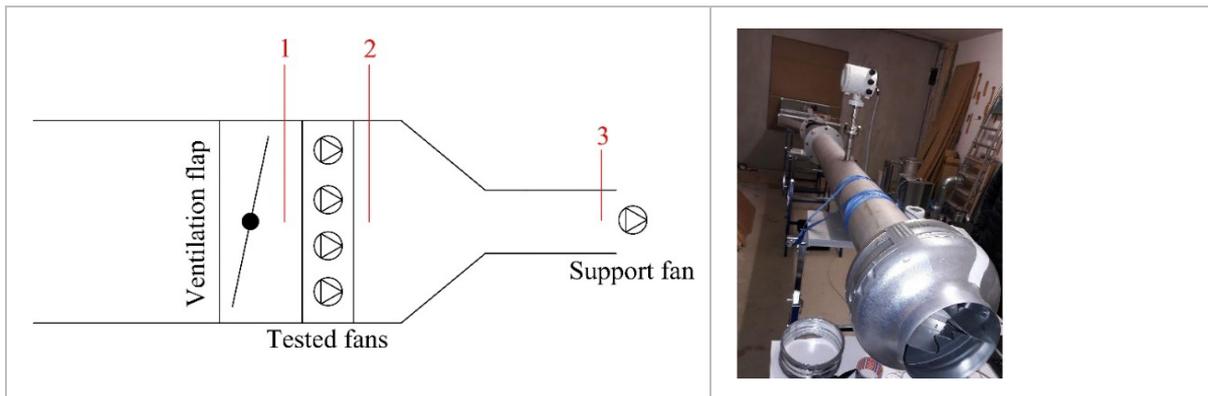


Abbildung 4: Schematischer Aufbau (links) und Foto (rechts) des Versuchsaufbaus zur Ermittlung des Druckverlusts und der Ventilatorstromaufnahme für verschiedene Ventilator-Verdampfer-Konfigurationen

In Abbildung 5 ist zu sehen, dass bei nominalem Volumenstrom von 350 m<sup>3</sup>/h bei geringen Druckverlusten (d.h. unterhalb etwa 20 Pa bis 25 Pa) die Konfiguration mit Axialventilatoren sowohl geringere Schallemissionen als auch geringere Ventilatorleistung aufweist. Durch den zusätzlichen Einsatz von schallabsorbierendem Material beträgt der resultierende Schallleistungspegel bei einem Luftvolumenstrom von 350 m<sup>3</sup>/h knapp unter 40 dB(A).

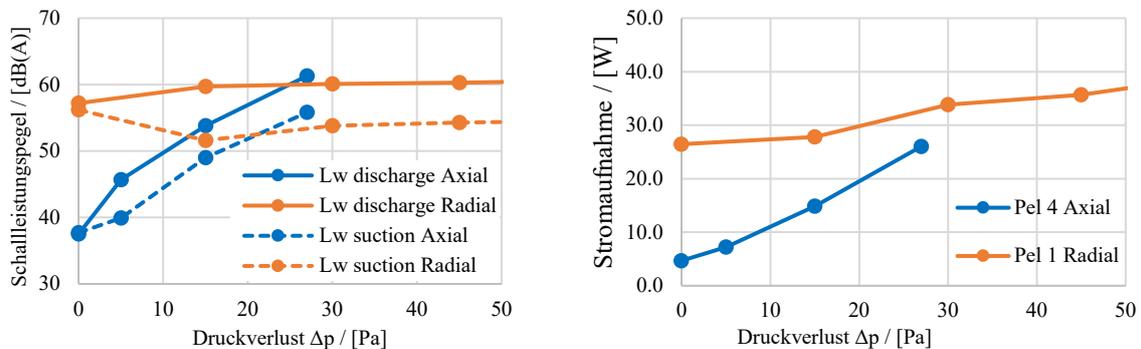


Abbildung 5: (Links) Schallleistungspegel vs. Druckverlust, (rechts), Stromaufnahme der Ventilatoren vs. Druckverlust bei 350 m<sup>3</sup>/h

Abbildung 6 zeigt links das Funktionsmuster für die Messung des Kältekreis und rechts den Prototypen für den Mock-up. Das Kunststofftieffziehteil kann mit verschiedenen Farben hergestellt werden.



Abbildung 6: Funktionsmuster der fassadenintegrierten Außeneinheit für Labormessung (links) und Prototyp (Drexel und Weiss) im Mock-up (Testfassade) für die serielle Sanierung in der PASSYS Testzelle (UIBK)

### 2.3. Kältekreis und Trinkwarmwasser-Wärmepumpe

Der Kältekreis wurde optimiert um die 1.5 kW bei einer Kältemittelmenge von max. 150 g zu erreichen. Für das Zapfprofil M [9] wurden folgende Kenndaten ermittelt, siehe Tabelle 1. Weitere Details zur Effizienz der Wärmepumpe sind in [7] zu finden. Messungen für tiefere Quellentemperaturen sind Gegenstand aktueller Messungen.

Tabelle 1: Systemleistungszahl ( $COP_{sys}$ ) der Trinkwarmwasser-Wärmepumpe mit Zapfprofil M nach [9], inkl. Speicherverluste, siehe auch [7]

Temperature [°C]	$Q_{DHW}$ [kWh]	$Q_{el}$ [kWh]	$COP_{sys}$ [-]
10	6.05	2.16	2.80
15	6.05	2.07	2.92
20	6.04	1.96	3.09

### 2.4. Mock-up

Ein Element einer vorgefertigten Holzfassade wird in der Passystemtestzelle der Uni Innsbruck installiert und vermessen bezüglich des thermischen und bauphysikalischen Verhaltens der Fassade sowie bezüglich der Effizienz der Wärmepumpe und der Schallemissionen. Die Schnittstellen können optimiert werden und Wartungskonzepte können erprobt werden.



Abbildung 5: Testfassade (Kulmer Holzbau) in der PASSYS Testzelle der UIBK mit Wärmepumpenaußeneinheit (unten) und Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung (oben). Testfassade: Kulmer Holzbau; Wärmepumpe und Lüftungsgerät: Drexel und Weiss

### 3. (Virtuelle) Demo-Projekte

#### 3.1. Demo «Gutenbergstrasse»

Das Demogebäude «Gutenbergstrasse» beinhaltet relativ große Wohnungen. Die Heizung (ehemals Gasetagenheizung) wurde zentralisiert, für die Trinkwarmwassererwärmung kommen E-Boiler zum Einsatz. Es wird untersucht wie die neue Split-TWW Wärmepumpe alternativ zu den E-Boilern eingesetzt werden kann. Ein Rendering der hofseitigen Fassade für das Demonstrationsgebäude ist in Abb. 6 zu sehen. Die vorgeschlagene Position für die Integration der Außeneinheit in die Fassade ist neben den Balkonen zu erkennen, wodurch die Notwendigkeit der Zugänglichkeit für Reparatur und Wartung berücksichtigt wird. Der Innenhof des Gebäudes verfügt nach der Renovierung über einen Außenaufzug und Balkone für einen weiteren Zugang zu den Wohnungen. Die Nassräume befinden sich auf der Hofseite, sodass kurze Distanzen zwischen Innen- und Außeneinheit eingehalten werden können. Die Wärmepumpe kann im Bad installiert werden.



Abbildung 6: Virtuelle Demo in Innsbruck mit fassadenintegrierter Wärmepumpenaußeneinheit (Gebäude: IIG, Rendering: element Design)





Abbildung 7: Beispielhafte Simulation der Schallausbreitung in einer Innenhofsituation; FFG Projekt FiTNeS / Rothbacher

## 4. Schlussfolgerung

In Europa werden mittel- bis langfristig alle fossilen Heizungen ersetzt werden müssen. Einige Länder haben ein Verbot fossiler Heizungen schon umgesetzt oder sind zumindest daran dies umzusetzen, die Pläne der EU sind diesbezüglich sehr ambitioniert. Wärmepumpenbasierte Heizungen sind die einzige Lösung, wenn ein Fernwärmeanschluss nicht möglich ist. Das Potential von Biomasse ist stark limitiert und Biomasse für die Heizung kann nur in Ausnahmefällen verwendet werden und elektrische Heizungen sind zu ineffizient. In dicht besiedelten Gebieten ist allerdings die Quellen-Erschließung für Wärmepumpen schwierig und der Raum für die Aufstellung ist knapp, zusätzlich limitieren Obergrenzen für Schallemissionen mögliche Aufstellungsorte, d.h. große Luft/Wasser-Wärmepumpen können oft die Schallgrenzwerte nicht einhalten. Nachträglich installierte zentrale WP-Lösungen weisen teilweise signifikante Verteilverluste auf.

Dezentrale (wohnungswweise) Lösungen sind deswegen häufig die einzige Alternative. Trotz der technischen und ökonomischen Herausforderungen, bieten dezentrale WP Lösungen Vorteile v.a. dadurch, dass die Wärmebereitstellung direkt beim Verbraucher stattfindet, somit fallen keine Verteilverluste an. Durch die Modularität wird ein hoher Grad an Flexibilität erreicht, die kompakte und modulare Bauweise erlaubt die Integration von Komponenten in die Fassade wodurch der Raumbedarf in der Wohnung reduziert wird. Zudem ermöglicht die Wohnungsweise Lösung die Vereinfachung von Betriebskostenabrechnung (nur Kaltwasser und Strom). Insofern Zugang für Wartung und Reparatur von Außen ermöglicht werden kann, sind auch die Wartungskosten geringer und es ist keine Abstimmung mit den Mieter\*innen notwendig.

Die hier vorgestellte Mini-Split Wärmepumpe für die wohnungsweise dezentrale Warmwasserbereitung mit fassadenintegrierter Außeneinheit bietet eine attraktive Lösung für die Wohnungsweise Warmwasserbereitung und damit einen wichtigen Baustein für den Ausstieg aus fossilen Heizungssystemen.

## 5. Ausblick

Im Rahmen des FFG Projekts PhaseOut werden innovative, minimalinvasive Sanierungslösungen (thermische Sanierung und Heizungstausch) mit Wärmepumpen und PV im Geschoßwohnbau an sieben baugleichen Gebäuden umgesetzt. Es erfolgt ein umfangreicher Vergleich verschiedener technischer Lösungsvarianten auf Basis modularer und skalierbarer Gebäudetechniksysteme sowie multifunktionaler Gebäudekomponenten für den Austausch von dezentralen Gasetagenheizungen durch zentrale, semi-zentrale und dezentrale Wärmepumpen-Lösungen unter anderem auch die hier vorgestellte Split-Wärmepumpe mit in die vorgefertigte Holzfassade integrierte Außeneinheit.

## 6. Danksagung

Die Entwicklung war Möglich durch die Förderung durch die FFG im Rahmen des FFG Stadt der Zukunft Projekts FITNeS.

## 7. Referenzen

- [1] European Commission, Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency, Off. J. Eur. Union. 156 (2018) 1–17. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>.
- [2] European Commission, Factsheet - Energy Performance of Buildings, (2021) 3. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/fs\\_21\\_3673](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/fs_21_3673).
- [3] EU, COMMISSION RECOMMENDATION (EU) 2019/786 of 8 May 2019 on building renovation, Off. J. Eur. Union. 18 (2019) 75. <https://op.europa.eu/pt/publication-detail/-/publication/4a4ce303-77a6-11e9-9f05-01aa75ed71a1/language-en>.
- [4] H.-M. Henning, A. Palzer, Energiesystem Deutschland 2050, Fraunhofer-Institut Für Solare Energiesysteme ISE. (2013) 46.
- [5] Constanze Bongs et al., LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden («LowEx-Bestand Analyse»), Förderkennzeichen: 03SBE0001 A-C, 09.03.2023
- [6] F. Ochs, W. Monteleone, G. Dermentzis, D. Siegele, C. Speer, Compact Decentral Façade-Integrated Air-to-Air Heat Pumps for Serial Renovation of Multi-Apartment Buildings, Energies. 15 (2022). <https://doi.org/10.3390/en15134679>.
- [7] William Monteleone, Fabian Ochs, Simulation-assisted development of a mini-split air-to-water façade-integrated heat pump for minimal invasive renovations, IEA HP Conference 2023, Chicago.
- [8] P. Biermayr, C. Dißbauer, M. Eberl, M. Enigl, H. Fechner, B. Fürnsinn, M. Jaksch-Fliegen-schnee, K. Leonhartsberger, S. Moidl, E. Prem, C. Schmidl, C. Strasser, W. Weiss, M. Wittmann, P. Wonisch, E. Wopienka, Innovative Energietechnologien in Österreich - Marktentwicklung 2021, Nachhalt. Wirtschaften. 21b (2022) 18–275. <https://nachhaltig-wirtschaften.at/de/iea/publikationen/markterhebungen.php>.
- [9] DIN EN 16147, Heat pumps with electrically driven compressors - Testing, performance rating and requirements for marking of domestic hot water units, 2017. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.31030/2513808>.

# TES – Maßanzug für den Wohnungsbau

Gebäudemodernisierung mit vorgefertigten Fassadenelementen in Holztafelbauweise (TES)

Alexander Gump  
Gump & Maier GmbH  
Binswangen, Deutschland





# TES – Maßanzug für den Wohnungsbau

## 1. Gebäudemodernisierung mit vorgefertigten Fassadenelementen in Holztafelbauweise (TES)

Ist es möglich, ein Gebäude, welches das Ende seines Lebenszyklus erreicht hat, auf den Stand eines Neubaus zu modernisieren, anstatt es abzureißen und neu zu bauen? Die TES Methode gibt darauf eine klare Antwort: Wird das Bestandsgebäude bei einer Modernisierungsmaßnahme ganzheitlich betrachtet und eine tiefgreifende Sanierung durchgeführt, so können Wohnqualität, Nutzungseigenschaften und der Energieverbrauch eines Neubaus erreicht werden. Dabei spart der Bauherr gegenüber einem Ersatzneubau nicht nur bei Baukosten und Bauzeit. Sondern auch der ökologische Fußabdruck der Maßnahme wird auf ein Minimum reduziert, da die bestehende Bausubstanz zum größten Teil erhalten bleibt.

Dass die TES Methode auch im großstädtischen Umfeld erfolgreich angewendet werden kann, zeigte die 2017 durchgeführte Modernisierung in der Unertlstraße in München-Schwabing. Auf unkonventionelle Weise wurde bei den beiden Reihenhäusern der Gebäudeklasse 5 die Modernisierung mit einer vorgefertigten Holzbaufassade (straßenseitig) und einer WDVS Sanierung (hofseitig) verbunden. Während die Fassadensanierung straßenseitig nach zwei Wochen abgeschlossen war, zogen sich die Arbeiten auf der Hofseite über einen deutlich längeren Zeitraum, mit Unterbrechung wegen eines frühen Wintereintritts. Die Fassadengestaltung mit dem TES System erlaubte eine große architektonische Freiheit und die direkte Abtragung der Lasten aus den Balkonen in den Fassadenelementen, während hofseitig wenig Spielraum für eine Neugestaltung war. [Huß 2017]



Abbildung 1: Straßenansicht zweier Wohnhäuser in München, vor und nach der Modernisierung

### 1.1. Nachhaltige Modernisierung mit System

Die TES Modernisierung wurde bereits 2008 an der Technischen Universität München in Kooperation mit nationalen und internationalen Partnern aus Forschung und Holzbaupraxis entwickelt. Das System ist insbesondere auf den Gebäudebestand der 1950er bis 80er Jahre ausgerichtet, welcher bedingt durch zumeist geringen Baustandard einen hohen Energieverbrauch und geringe Nutzungsqualität aufweist. Seit den ersten Anwendungen wurde das TES stetig weiterentwickelt und wird kontinuierlich für die Gebäudemodernisierung genutzt.

Zur Rentabilitätsbeurteilung einer TES Modernisierung ist der gesamte Lebenszyklus der Maßnahme zu betrachten. Hier kommen die geringen Wartungskosten und lange Lebensdauer der Fassadenelemente zum Tragen, welche insbesondere bei Anwendung einer diffusionsoffenen, hinterlüfteten Holzfassade mit einem dauerhaften mineralischen Anstrich

konventionellen Systemen weit überlegen sind. Zudem kann eine räumliche Erweiterung des Gebäudes in einem Zuge mit der Modernisierung erfolgen. Die zusätzlichen Einnahmen aus der so hinzugewonnenen Nutzfläche führen zu einer schnelleren Amortisation der Modernisierungskosten. Für den Bauherren zahlt sich die Entscheidung für eine tiefgehende Sanierung mit der TES-Methode somit auf mehrere Weise aus: Das Gebäude befindet sich nach kürzest möglicher Bauzeit in einem Neubauzustand, wodurch Mietausfälle minimiert und die neue Lebensdauer des Gebäudes maximiert werden. Risiken und Unsicherheiten während der Bauphase werden durch eine vorausgehende, vollständige und integrale Planung minimiert. Die Wartungs- und Betriebskosten nach der Modernisierung sind geringer als zuvor und geringer als bei konventionellen Sanierungsmaßnahmen. Und nicht zuletzt wird durch den Erhalt der Bestandssubstanz und die Verwendung nachhaltiger Baustoffe ein wichtiger Schritt hin zu einer ökologisch verträglichen Baumaßnahme gegangen.

## **2. Integraler Planungsprozess: Grundlage der vorgefertigten Bauweise im Bestand**

Bauaufgaben im Bestand sind im Allgemeinen mit großen Unsicherheiten bezüglich der Entwicklung von Kosten und Dauer der Baumaßnahme behaftet. Großteils ist dies damit verbunden, dass Entscheidungen erst auf der Baustelle getroffen werden. Dagegen ist die Voraussetzung zur Anwendung vorgefertigter Fassadenelemente, dass zunächst eine vollständige Werkplanung erfolgen muss, um die Elemente herstellen und montieren zu können.

Die Modernisierung mit vorgefertigten Holzbauerelementen basiert daher auf einem integralen, umfassenden Planungsprozess, bei dem im Vorfeld zur Ausführung alle Gegebenheiten und die entsprechenden baulichen Lösungen festzulegen sind. In den Planungsprozess sind alle Beteiligten einzubeziehen: Architekten, Haustechnik-, Brandschutz- und gegebenenfalls weitere Fachplaner [Lattke 2018]. Ebenfalls sollte möglichst früh im Planungsprozess das ausführende Holzbauunternehmen oder ein erfahrener Holzbauingenieur mit in die Planung einbezogen werden. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die architektonischen, baurechtlichen und konstruktiven Anforderungen an die Modernisierungsmaßnahme eingehalten werden und eine holzbautechnisch optimierte Lösung erstellt wird. Zentrales Element der integralen Planung bildet das Bestandsmodell, welches für alle Planungsbeteiligten als Grundlage dient. Somit ist die TES Modernisierung für eine Planung mit BIM (Building Information Modeling) prädestiniert, da die maßgebenden Elemente bereits vorhanden sind: Die Planung und Ausführung folgen einem definierten, systematischen, digitalisierten Workflow, die Planung basiert auf einem dreidimensionalen Modell und es sind mehrere Akteure beteiligt, deren Zusammenarbeit auf engem Raum – in den Fassadenelementen – gut abgestimmt und kollisionsfrei erfolgen muss.

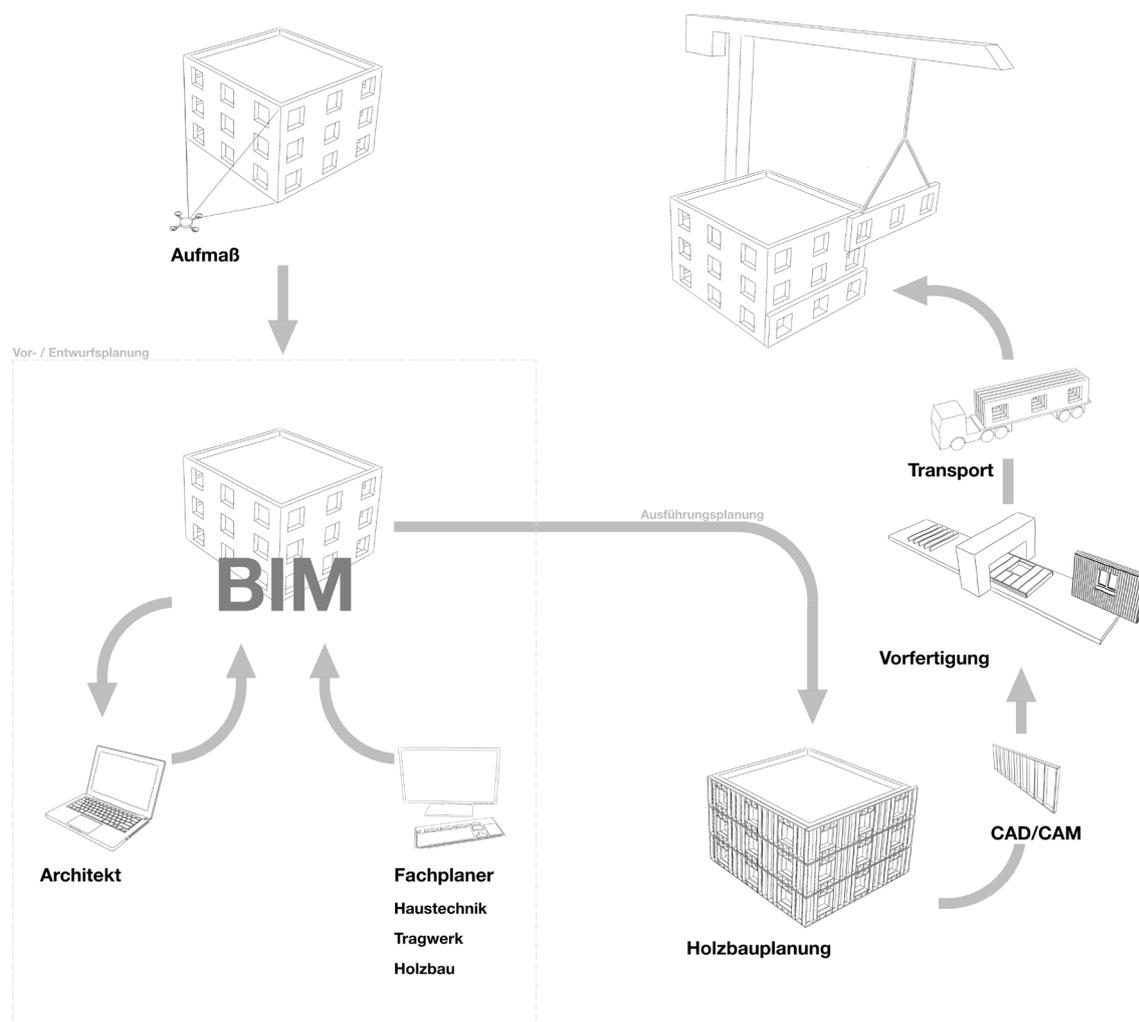


Abbildung 2: TES Prozessgrafik: Aus dem digitalen Aufmaß entsteht das Bestandsmodell, welches die Grundlage für den folgenden, integralen Planungsprozess bildet. Vom Aufmaß bis zur Montage folgt die Modernisierung mit dem Timber Element System (TES) einem systematischen, digitalen Workflow.

### 3. Konstruktive Holzbaulösungen für die Modernisierung

Die Konstruktion der TES Fassadenelemente orientiert sich zunächst an der Struktur des bestehenden Gebäudes: An der Größe und Lage der Fensteröffnungen, an den Gebäudeoberflächen und -kanten sowie an der Lage der Deckenplatten und weiterer für die Befestigung der Elemente maßgebender tragender Bauteile.

Die bestehenden Fenster werden zumeist kurz vor Anbringen Fassadenelemente von innen entfernt. Da die bestehenden Fensteröffnungen nicht zwangsläufig in einheitlicher Größe und lotrecht ausgeführt sind, wird ein gemittelttes Fenstermaß bestimmt, so dass die neuen Fenster einheitlich ausgeführt werden können. Um die innere Fensterlaibung auf den Fensterrahmen führen zu können, werden dabei die neuen Fenster kleiner ausgeführt als die bestehenden Fenster. Die Verkleinerung der Fensteröffnungen und die zusätzliche Laibungstiefe führen somit zu einem geringeren Tageslichteinfall, welcher in der Planung zu berücksichtigen ist. Jedoch ist die Prämisse der TES Modernisierung, den Bestand möglichst nicht zu verändern, um die Störung und die Bauzeit vor Ort so gering wie möglich zu halten.

Die für eine TES Modernisierung in Frage kommenden Gebäude weisen in der Regel schwerwiegende Wärmebrücken auf. In den meisten Fällen sind diese auf durchgehende auskragende Geschossdecken, wie Balkone oder Loggien zurückzuführen. Um die Wärmebrücken zu entfernen, werden die Balkone entweder abgerissen oder mit in die neue Hülle

eingebunden. So kann eine Vergrößerung der Wohnfläche erreicht werden. Um die verloren gegangenen Balkonflächen zu ersetzen, können neue Konstruktionen wie gestützte Stahlbalkone vor das Gebäude gesetzt oder Einzelbalkone mit thermisch getrennten Anschlüssen ausgeführt werden. Die Holztafelbauweise ermöglicht es beispielsweise, Stahlkonstruktionen direkt an die Holzständer anzuschrauben, ohne dabei Wärmebrücken zu erzeugen.

Neben der Reduktion von Wärmebrücken ist die Luftdichtigkeit maßgebend für den Energiebedarf und ist somit im Zuge der TES Modernisierung sorgfältig zu planen, auszuführen und zu prüfen. Je nach Zustand des Bestandsgebäudes wird die Luftdichtigkeit durch die bestehende Außenwand, die rückseitige Beplankung der Fassadenelemente oder durch eine Folie erfüllt, die um das Bestandsgebäude gehüllt wird. In jedem Fall ist ein sorgfältiger, luftdichter Anschluss zwischen Element und bestehendem Gebäude erforderlich. Insbesondere ist ein Augenmerk auf den luftdichten Anschluss in den Fensterlaibungen und an Durchdringungen zu richten.

Grundsätzlich bestehen an TES Elemente die Brandschutzanforderungen gemäß nichttragender Außenwände im Sinne der Bauordnung. Somit muss auf und in den Fassadenelementen eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt sein. Die Ausführung aus brennbaren Baustoffen ist zudem in den Gebäudeklassen 4 und 5 nur zulässig, wenn die Fassade als raumabschließendes Bauteil feuerhemmend ist (W-30B). Die Oberflächen müssen schwerentflammbar sein, wobei normalentflammbare Dämmstoffe und Unterkonstruktionen zulässig sind, wenn die oben genannte Anforderung an eine Begrenzung der Brandausbreitung nicht verletzt wird. Eine Abweichung in Form von Holzverkleidungen ist möglich, wenn diese durch eine entsprechende konstruktive Ausführung kompensiert wird. (vergleiche [Gräfe et al. 2014], S. 22 ff.)

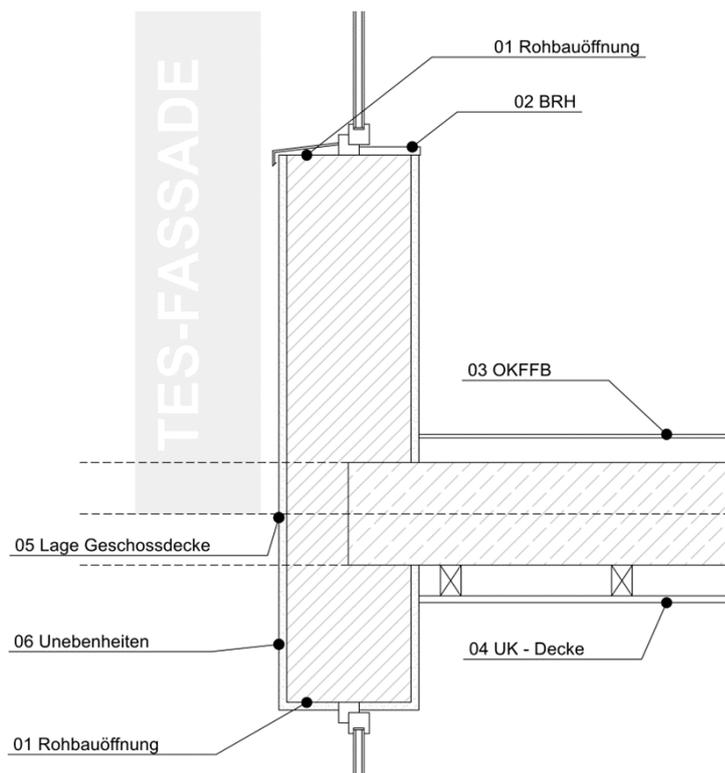


Abbildung 3: Maßgebende Punkte, die während der Bestandsaufnahme vermessen und im Bestandsmodell erkenntlich sein müssen

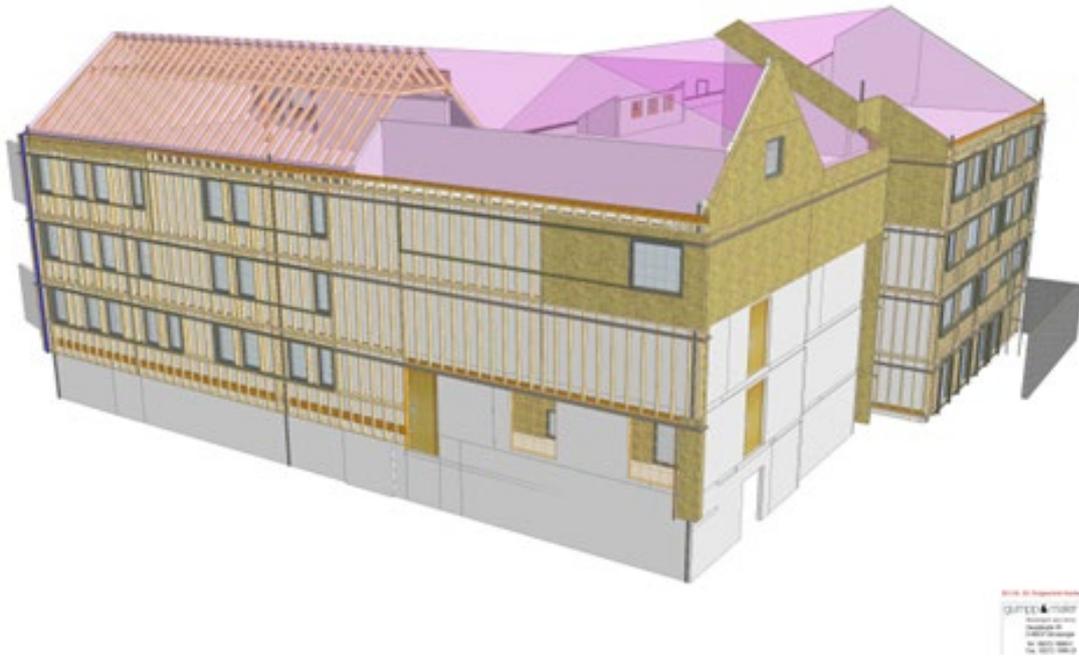


Abbildung 4: CAD/CAM Holzbauplanung der Fassadenelemente auf Basis der Punktwolke des Laserscans



Abbildung 5: Montage TES Element

#### 4. Digitaler Workflow von der Bestandsaufnahme bis zur Montage

Grundlage für die Modernisierung mit einer TES-Fassade ist eine umfassende Bestandsaufnahme, die mit einer grundlegenden Beurteilung des Gebäudezustandes beginnt. Dazu muss eine genaue Untersuchung der Materialien, besonders in den tieferen Schichten, sowie der Gründungsverhältnisse und Tragfähigkeit erfolgen. Gesundheitsgefährdende Stoffe, wie Asbest, können so frühzeitig erkannt und bei der späteren Maßnahme entsprechend entsorgt werden. Die horizontalen Kräfte auf die neue Fassade aus Wind und anzunehmender Schiefstellung werden in der Regel geschoßweise in die Deckenplatten eingeleitet, während vertikale Kräfte bis zum Fußpunkt der Fassade durchgeleitet werden. Durch Auszugsversuche wird die Tragfähigkeit der bestehenden Konstruktion und die

erforderliche Art von Verbindungsmitteln bestimmt. Die vertikalen Lasten, die aus dem Gewicht der TES-Fassade resultieren, werden in den meisten Fällen über eine Konsole an der Stirnseite der Kellerdecke oder über ein vorgestelltes Streifenfundament direkt in den Sockel eingeleitet und abgetragen. Folglich ist es sinnvoll, bereits in diesem ersten Schritt einen Eindruck von den vorhandenen Bodenverhältnissen zu erlangen. Im weiteren Verlauf wird ein dreidimensionales Bestandsmodell erstellt, welches die Grundlage für die weitere Planung und Ausführung der TES Fassade bildet. Da Planunterlagen des Bestandsgebäudes, sofern sie vorhanden sind, nicht mit der notwendigen Genauigkeit den gebauten Zustand wiedergeben, ist ein Aufmaß erforderlich. Durch das digitale Aufmaß kann die Gebäudegeometrie und die Lage der tragenden Struktur genau erfasst werden. Dabei sind Messtoleranzen in Abhängigkeit von Art des Bauteils einzuhalten, um die Übereinstimmung zwischen Bestandsgebäude und neuer Fassade wie zwischen Stempel und Abdruck zu gewährleisten. Vor allem auf Vor- und Rücksprünge, Größe und Ausrichtung von Öffnungen sowie die Lage der Geschossdecken und der Dachkanten muss ein besonderes Augenmerk bei der Vermessung gelegt werden.

Bei der Vermessung muss die erforderliche Präzision gewährleistet sowie möglicherweise eingeschränkte Zugänglichkeit und Verschattung von Gebäudeteilen bewältigt werden. Bewährt hat sich die Kombination verschiedener Aufmaßmethoden, wie das Aufmaß einzelner Punkte mit einem Tachymeter in Verbindung mit einem 3D-Laserscan. Mit dem Tachymeter werden dabei einzelne, ausgewählte Punkte mit einer hohen Genauigkeit und guten Übersichtlichkeit im Modell vermessen. Durch den 3D-Lasescan können dagegen bessere Aussagen über die Unebenheit von Oberflächen und somit über die notwendigen Toleranzen zwischen Bestand und neuer Fassade getroffen werden, jedoch auf Kosten der Übersichtlichkeit durch die große Anzahl der vorhandenen Punkte. Besonders reibungslos kann das Aufmaß durch direkte Kopplung eines Tachymeters und einer Holzbauplanungssoftware erfolgen, da das Bestandsmodell ohne weitere Nachbearbeitung und Interpretation sofort sichtbar ist und die weitere Planung der Fassade direkt in der gleichen Software und an dem gleichen Modell stattfinden kann. Zur Beurteilung der Unebenheiten können in diesem Fall einzelne Fassadenpunkte zur Kontrolle vermessen werden.

Die Planung der Fensteröffnungen erfordert die Vermessung bestehenden Öffnungen mit einer Genauigkeit von  $\pm 5$  mm. Die Unebenheiten und Toleranzen der bestehenden Außenwand liegen oft im Bereich von mehreren Zentimetern und sollten mit einer Genauigkeit von  $\pm 4$  mm erfasst werden. Um diese Toleranzen auszugleichen wird ein umlaufender Holzbalken an die Stirnkanten der Geschossdecken geschraubt. Der Spalt, der so zwischen Bestandswand und der neuen TES-Fassade entsteht, wird mit Dämmstoff gefüllt. Dieser Montagebalken dient allerdings nicht nur zum Ausgleich von Toleranzen, sondern vor allem der Ausrichtung und Befestigung der TES-Elemente. Je nach Gebäudetyp, Befestigungsmöglichkeit und statischer Anforderung kann der Montagebalken und somit auch das TES-Element horizontal über ein Geschoss oder vertikal über mehrere Geschosse angebracht werden.



Abbildung 6: Digitales Gebäudeaufmaß mit 3D Laserscan

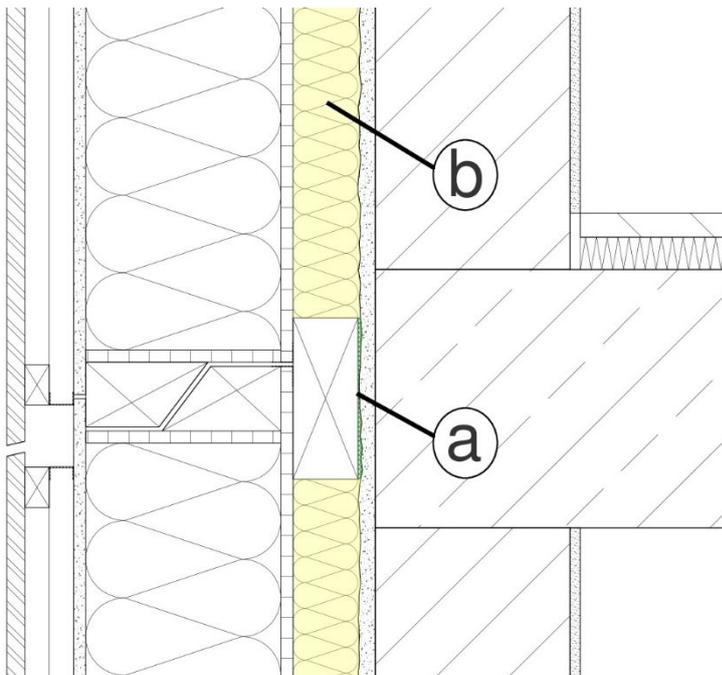


Abbildung 7: Ausgleich der vorhandenen Toleranzen am Bestandsgebäude (a) Die Montagebalken werden durch Abstandhalter ausgerichtet (b) Der verbleibende Hohlraum wird vor Anbringen der Elemente mit Mineralwolle gefüllt

## 5. Elementierung und maximaler Vorfertigungsgrad

Die Vorfertigung beinhaltet die Holzrahmenkonstruktion mit innerer und äußerer Beplankung, Dämmung, Unterkonstruktion für die Fassadenbekleidung und wenn möglich die Fassadenbekleidung selbst. Bei anderen Fassadenvarianten müssen die Restarbeiten, wie das Aufbringen der letzten Putzschicht oder das Anbringen der Fassadenplatten nach der Montage der TES-Elemente erfolgen. Daneben werden Fenster und Sonnenschutz in der Vorfertigung montiert. Ebenfalls bereits in der Praxis eingesetzt wurden Elemente, in die haustechnische Komponenten integriert wurden. Diese können dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung sein, Lüftungsschächte oder auch Elektro- und Wasserleitungen. Besonders hervorzuheben ist dabei die Möglichkeit, ein Schachtelement herzustellen,

das über die TES Fassade den zentralen Haustechnikraum mit den einzelnen Stockwerken verbindet. Durch die Fertigung in der geschützten Umgebung der Werkshalle können komplizierte Anschlüsse ergonomisch und effizient eingebaut werden. Auf der Baustelle wird das Schachtelement in kurzer Zeit montiert und muss lediglich noch an den vorbereiteten Anschlüssen verbunden werden.

Die Elementgröße orientiert sich an den Gegebenheiten aus Geschosshöhe, Fassadenrücksprüngen, möglicher Transportgröße und zulässigem Elementgewicht. Das Ziel ist eine Ausführung mit möglichst wenigen Elementen, da eine größere Elementzahl direkt mit längeren Produktionszeiten und erhöhtem Logistischen Aufwand verbunden ist. Daraus resultieren in der Regel horizontale Elemente mit einer Höhe von einem Geschoss und einer Länge bis zu 12 Metern.

Dass die genannten Anforderungen auch zu anderen Lösungen führen können, zeigt die Modernisierung mit vertikalen Fassadenelementen in der Unertlstraße. Die straßenseitige Fassade des Reihenmittelhauses ist 17 Meter breit, 18,9 Meter hoch und weist durch den durchgehenden Zwerchgiebel zudem einen Fassadenrücksprung auf. Durch die vertikale Ausrichtung der Elemente konnte somit die Anzahl der notwendigen Fassadenelemente und damit die Bauzeit vor Ort optimiert werden. Die Elemente wurden wie horizontale Elemente gefertigt und erst auf der Baustelle aufgerichtet. «Das führt in der Vorfertigung dazu, dass die Fenster um 90° gedreht eingebaut werden müssen, was aber keine großen Schwierigkeiten bereitet. Die Elemente werden komplett in der Horizontalen vorgefertigt und erst auf der Baustelle in die Vertikale gehoben.» berichtet Alfred Bühler, Leitung der Arbeitsvorbereitung bei der Gump & Maier GmbH. Damit die Belastung durch Biegung beim Drehen der Elemente nicht überschritten wurde, musste ein Kipplaster eingesetzt werden, um die Elemente zunächst auf 45° anzuheben, bevor sie weiter mit dem Kran angehoben wurden.

Die Fügung der Elemente erfolgt nach dem Prinzip des Stufenfalzes. Jede Schicht ist am Elementstoß etwas versetzt, wodurch in Verbindung mit der Pressung durch das Elementgewicht die erforderliche Dichtigkeit erreicht wird. Zusätzliche Dichtungen im Elementstoß werden nur benötigt, wenn die OSB Platte an der Elementrückseite die Luftdichtigkeit des gesamten Gebäudes leisten soll. Da die Gummidichtungen den Einbau erschweren, sollten sie nur bei zwingendem Erfordernis eingesetzt werden.



Abbildung 8: vertikaler Elementstoß



Abbildung 9: horizontaler Elementstoß

## 6. Logistik des Bauens im Bestand mit vorgefertigten Holzbaulementen

Der Bauablauf einer TES-Modernisierung ist an einen strikten Zeit- und Montageplan gekoppelt. Im ersten Schritt wird der Sockelbereich für die Lastabtragung der TES-Fassade vorbereitet. Das kann durch ein neues Streifenfundament vor der bestehenden Kellerwand oder durch eine Stahlkonsole in der Stirnkante der Kellerdecke erfolgen. Im nächsten Schritt werden die ersten zwei Lagen des Fassadengerüsts aufgestellt und im Anschluss die Bauchbinden eingemessen und mit Schwerlastankern oder Betonschrauben montiert. Der Abstand zwischen der bestehenden Außenwand und dem Fassadengerüst sollte mindestens 50 cm betragen, um das Einheben und das Montieren der Elemente zu gewährleisten.

Nach Anbringen der Montagebalken wird die restliche Fassade flächig mit Mineralwolle bekleidet, um den Hohlraum zwischen TES-Fassade und der bestehenden Außenwand zu schließen und so die Vorgaben an Brand- und Feuchteschutz sicher zu stellen. Kurz vor der Montage der TES-Elemente werden jeweils die betreffenden Bestandsfenster ausgebaut. Nach dem Befestigen der Elemente mittels Holzbauschrauben durch den Obergurt in die Montagebalken können bereits die Laibungen im Inneren geschlossen werden, während bereits die nächsten Elemente montiert werden. Falls notwendig kann auf diese Weise in kurzer Zeit mit nur einmaligem Betreten der Wohnung die neue Fassade und der fensteraustausch realisiert werden, um die Störung der Bewohner zu minimieren. Die Modernisierung im bewohnten Zustand soll in der folgenden Betrachtung noch einmal beleuchtet werden.

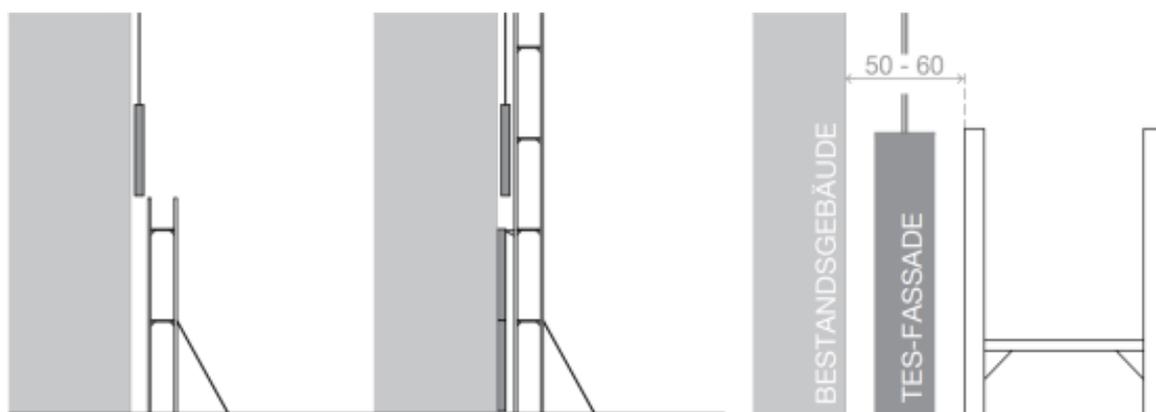


Abbildung 10: Montage der TES Elemente – das Gerüst wächst mit dem Baufortschritt mit

## 7. Maßgeschneiderte Lösung ausgerichtet auf Nachhaltigkeit und Effizienz

Mit der TES Methode steht ein systematisiertes Vorgehen zur Verfügung, um eine reibungslose, sichere und finanziell wie ökologisch nachhaltige Modernisierung erfolgreich durchzuführen. Die Grundlage dafür bilden die vollständige Ausführungsplanung im Vorfeld und die Zusammenarbeit in einem integralen Planungsprozess.

Das Ziel einer Modernisierung mit der TES Methode ist es, ein Gebäude, welches das Ende seines Lebenszyklus erreicht hat, wieder auf einen Neubaustandard zu heben, wodurch das Gebäude eine neue Lebenszeit erhält. Energieverbrauch und Nutzungsqualität sollen mindestens dem erforderlichen Neubaustandard entsprechen. Das zeigt, dass die TES Methode nicht auf eine Minimallösung mit nur der nötigsten Investition für eine kurzzeitige Verbesserung ausgerichtet ist, sondern für Bauherren interessant ist, die eine nachhaltige Lösung anstreben. Die Modernisierung im genutzten oder bewohnten Zustand ist durch die kurze Ausführungszeit auf der Baustelle und durch die geringe Störung der Nutzer zwar möglich. Jedoch fallen durch die komplexere Aufgabe höhere Kosten, da im bewohnten Zustand Wohnungen nicht frei betretbar sind und erheblicher Koordinationsaufwand mit den Nutzern entsteht. Eine optimale Umsetzung ist daher nur im unbewohnten Zustand zu erreichen.

Die TES Fassadenelemente dienen als Trägerrahmen für eine breite Palette an Ausstattungsvarianten, von Isolierverglasungen über Sonnenschutz bis hin zu Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung. Je nach Bedürfnissen des Bestandsgebäudes kann dieses System individuell und doch in einem systematisierten Prozess auf die unterschiedlichen Anforderungen angepasst werden.

## 8. Literaturverweise

- [1] [Huß 2017] Wolfgang Huß: Konventionell kontra Vorfertigung, in Deutsches Architektenblatt 11-17, planet c GmbH Düsseldorf 2017.
- [2] [Gräfe et al. 2014] Martin Gräfe et al.: Erarbeitung weiterführender Konstruktionsregeln/-details für mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise der Gebäudeklasse 4, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart 2014.
- [3] [Lattke et al. 2009] Frank Lattke et al.: TES EnergyFacade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope, TES Manual, TU München 2009.
- [4] [Lattke 2018] Frank Lattke: Lösungen für die Gebäudemodernisierung, in Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Detail Business Information GmbH München 2018.

**Block B3**  
**Zirkuläres Konstruieren und Bauen**



# **Cradle-to-Cradle in der Praxis – oder: Wie Kreislaufwirtschaft funktionieren kann, zeigen die Niederlande**

Dr. Patrick Bergmann  
Madaster Germany GmbH  
Berlin, Deutschland





# Cradle-to-Cradle in der Praxis – oder: Wie Kreislaufwirtschaft funktionieren kann, zeigen die Niederlande

## Abstract

Die jedes Jahr steigende Menge an Abfall stellt uns alle vor große Herausforderungen. Hinzu kommen der Klimawandel und die drohende Ressourcenknappheit. Doch wie können wir sinnvoller mit Rohstoffen und Materialien wirtschaften? Die Antwort ist eigentlich ganz einfach: Durch eine gut durchdachte Kreislaufwirtschaft. Die Niederlande zeigen nicht nur dass, sondern auch wie es geht. Und auch in Deutschland gibt es die ersten zirkulär geplanten Gebäude, wie im Kreis Viersen. Hier zeigen sich auch die finanziellen Vorteile kreislauffähiger Immobilien.

## 1. «Die Wegwerfgesellschaft»

Ob Kaffeebecher oder «Einwegkleidung», oft wird über die Konsequenzen dieser Produkte nicht nachgedacht. Gleichwohl ist die stetig steigende Menge an Abfall eines der größten Probleme weltweit. Im Jahr 2018 veröffentlichte die Weltbank in Washington den Bericht «What a Waste 2.0», in diesem wird davon ausgegangen, dass das momentane Abfallaufkommen weltweit rund zwei Milliarden Tonnen entspricht – Tendenz steigend. Dafür sprechen die wachsenden Bevölkerungszahlen sowie die zunehmende Urbanisierung. Bis zum Jahr 2050 rechnet man mit rund 3,4 Milliarden Tonnen. Ein Drittel davon produzieren die sogenannten «hoch entwickelten Länder» wie die Schweiz, die Niederlande oder Schweden, die gleichzeitig nur rund 16 Prozent der Weltbevölkerung ausmachen. [21]

Wie kann man dieser Entwicklung aktiv entgegenwirken? Eigentlich «ganz einfach»: durch konsequente Wiederverwendung. Die Textilbranche macht es vor und bietet seit einigen Jahren Recyclingprogramme an. Dazu zählen inzwischen Textilriesen wie H&M, die ihren Kunden ermöglichen, aussortierte Kleidung unabhängig der Marke und des Zustands in Filialen gegen einen Gutschein einzulösen. Das Unternehmen sortiert im Anschluss die Textilien und schreddert das, was nicht Second Hand verkauft oder anderweitig wiederverwendet werden kann, zu Fasern, welche dann erneut in der Produktion Anwendung finden. [14] Gleichwohl machen Kleidungsstücke aus wiederverwendeten Materialien nach wie vor einen sehr geringen Teil des Sortiments aus.

Doch das klare Schlusslicht hinsichtlich des prozentualen Abfallaufkommens nach Branchen zweigen in Deutschland in Sachen Nachhaltigkeit und Ressourcenumgang ist tatsächlich die Immobilienbranche. Die Menge an Bau- und Abbruchabfällen belief sich im Jahr 2020 bundesweit auf 229,4 Millionen Tonnen, das entspricht 55,4 Prozent des Brutto-Abfallaufkommens. [19] Die Immobilienwirtschaft ist jedoch nicht nur hierzulande, sondern auch weltweit betrachtet, einer der größten Abfallproduzenten. Wie die Branche durch Recycling und Kreislaufwirtschaft dieser Tatsache entgegenwirken kann, zeigen unter anderem die Niederlande durch nachhaltiges Bauen und der Sanierung unter dem Gesichtspunkt der Ressourcenschonung und Abfallvermeidung mit Hilfe des Cradle-to-Cradle-Prinzips.

## 2. Von der Theorie zur Praxis

Bevor das Konzept der Kreislaufwirtschaft genauer betrachtet wird, braucht es ein gemeinsames Verständnis.

### 2.1. Das Cradle-to-Cradle-Prinzip

Das Cradle-to-Cradle-Designprinzip wurde von dem Architekten William McDonough und dem Chemiker Michael Braungart in den 1990er Jahren entwickelt. McDonough beschäftigte sich bereits seit längerem mit dem Thema «Nachhaltigkeit in der der Architektur». Ein Thema, dass von vielen seiner Kollegen bei der Planung von Gebäuden aus Kosten-

und Aufwandsgründen gar nicht beachtet wurde. Michael Braungart, der sich auf ökologische Chemie konzentrierte, waren die die Vielzahl giftiger und umweltschädlicher Produktbestandteile ein Dorn im Auge. Im Jahr 1991 kamen die beiden bei der Eröffnung des ersten amerikanischen Büros von EPEA, der Environmental Protection Encouragement Agency, miteinander ins Gespräch. Schnell wurde klar, dass sie dieselben Werte und Ideen vertraten – trotz ihrer unterschiedlichen Branchenzugehörigkeit. Ihre Vision: Produkte, die auf den Einsatz giftiger und gesundheitsschädlicher Stoffe verzichten und zudem umweltfreundlich sind. [2]

So entstand das Cradle-to-Cradle-Prinzip, übersetzt «von der Wiege zur Wiege». In dieser idealen Vorstellung sind alle verwendeten Stoffe zu 100 Prozent zirkulär nutzbar. Abfall fällt dabei nicht mehr an, da alle Stoffe am Ende ihres jeweiligen Lebenszyklus erneut dem Stoffkreislauf zugeführt werden. [10]

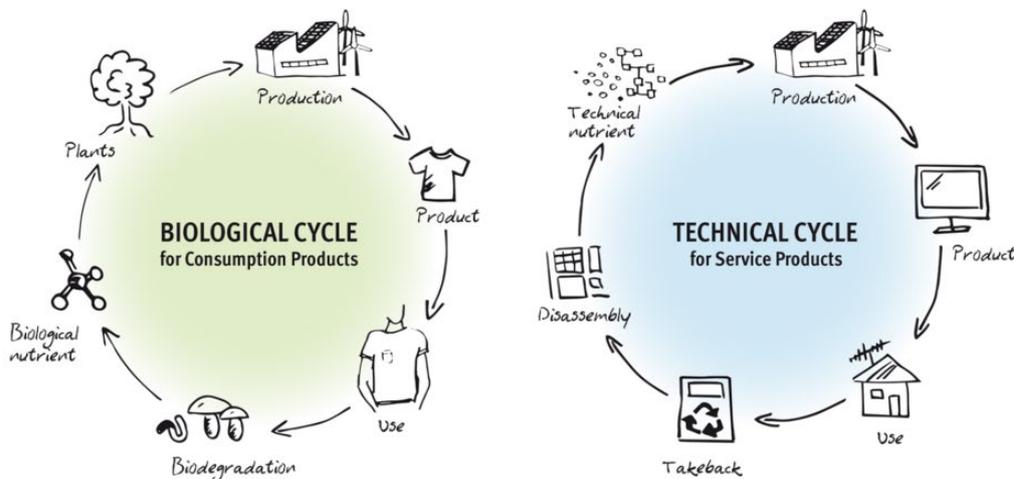


Abbildung 1: Darstellung des Cradle-to-cradle-Prinzips [10]

Wie diese Kreislaufwirtschaft aussehen kann, zeigt die obige Grafik. Das Prinzip der Kreislaufwirtschaft kann auf alle Arten von Produkten angewandt werden, die Schritte sind immer gleich: Nach der Herstellung wird das Objekt der Wahl vom Verbraucher genutzt, bis ein Defekt vorliegt oder es durch eine neuere Variante ersetzt wird. Daraufhin erfolgt die Rückführung in den Stoffkreislauf. Wertstoffhöfe, Hersteller und spezialisierte Unternehmen nehmen die abgelegten Güter zurück, zerlegen sie in ihre Bestandteile und stellen diese wieder den Produzenten zur Verfügung.

## 2.2. Kreislaufwirtschaft in der Praxis: Das Rathaus in Venlo

Wie das C2C-Prinzip in der Praxis aussieht, zeigen Kraaijvanger Architekten in den Niederlanden. Hier wurde im Jahr 2016 das weltweit erste ökologische Rathaus entwickelt. Das Gebäude verfügt über ein eigenes Gewächshaus in den obersten beiden von insgesamt 11 Stockwerken, das gemeinsam mit der vielfältig begrünten Nordfassade als «grüne Lunge» und Luftfilter der Immobilie dient. Die Glasfassade im Süden sorgt für eine natürliche Aufwärmung im Winter und ist gleichzeitig so konzipiert, dass sie einer Überhitzung im Sommer vorbeugt. Für die Energiegewinnung wurden 300 Quadratmeter Solarpaneele installiert. In einem künstlich angelegten Feuchtareal im Innenhof wird das Grauwasser des Rathauses natürlich aufbereitet zur Bewässerung und für die Toilettenspülung genutzt. Bereits während der Planung des Gebäudes wurden alle Informationen zu Bauteilen und Materialien in einem Materialpass erfasst. Dadurch weist das Gebäude alle Merkmale einer Materialbank auf. Das Ergebnis: Das Rathaus in Venlo ist energieneutral, recycelt Regen- und Abwasser und produziert im Falle einer Sanierung oder eines Rückbaus nahezu keinen Abfall. Neben der ressourcenschonenden Bauweise, dem nachhaltigen Betrieb und der damit einhergehenden Vorreiterrolle in Sachen C2C, wirkt die Immobilie dank der flächendeckenden Begrünung positiv auf die Luftqualität der Umgebung und die Biodiversität. [15] [20]

Von diesem erfolgreichen Bauprojekt ließen sich in den folgenden Jahren Architekten und Entwickler aus ganz Europa und der Welt inspirieren und das Prinzip fand unter anderem in Deutschland Einzug in die Architektur. [18]

### 3. Die politische Ebene

Das Thema Nachhaltigkeit erfährt immer mehr Aufmerksamkeit – nicht zuletzt aufgrund der fatalen klimatischen Entwicklungen der vergangenen Jahre.

#### 3.1. Ein Blick auf Europa

Die EU hat inzwischen die Dringlichkeit offenbar erkannt und reagiert auf den prognostizierten Rohstoffverbrauch bis 2050 mit teils drastischen Maßnahmen. Denn dieser würde laut aktueller Berechnungen in einem Maß ansteigen, dass es drei Planeten Erde bräuchte, um ihn zu decken. Im gleichen Zeitraum soll das jährliche Abfallaufkommen um 70 Prozent steigen. Um diesen Entwicklungen entgegenzuwirken, hat die Europäische Union eine gemeinsame Strategie entwickelt: den sogenannten Green Deal. [12] Zu den gemeinsam definierten Klimazielen zählen unter anderem eine Emissionsreduktion der EU von mindestens 55 Prozent bis 2030 und Klimaneutralität bis 2050. [13] Das Maßnahmenpaket beinhaltet außerdem die Förderung nachhaltiger Produkte und die Unterstützung des grünen Wandels durch die Überarbeitung der Bauprodukteverordnung. Übergeordnet soll durch die Ausweitung der Kreislaufwirtschaft bis 2050 die Ressourcennutzung unabhängig vom Wirtschaftswachstum werden und somit eine «klimaneutrale, ressourceneffiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft» [3] etablieren. [12]

#### 3.2. Vorreiter Niederlande

Was auf EU-Ebene noch Theorie ist, ist in den Niederlanden bereits Praxis. Im offiziellen «Kreislaufwirtschaftspaket» der niederländischen Regierung aus dem Jahr 2016 wurden strikte Ziele in Bezug auf die Zirkularität der Wirtschaft festgelegt. Bis zum Jahr 2050 soll eine perfekte Kreislaufwirtschaft etabliert werden. Etappenziel bis zum Jahr 2030: Die Nutzung von Mineralien, fossilen Rohstoffen und Metallen, im Sinne von Primärrohstoffen, um die Hälfte zu reduzieren. Die gesamte Strategie fußt auf drei großen Zielsetzungen:

- Qualitativ hochwertige Rohstoffe sollen in existierenden Lieferketten integriert werden.
- Neue Rohstoffe sollen nachhaltig hergestellte, erneuerbare und allgemein verfügbare Materialien sein.
- Neue Produktionsmethoden sollen entwickelt und bestehende Bereiche neu organisiert werden.

Die Kreislaufwirtschaft in den Niederlanden ist ein gesamtgesellschaftliches Projekt. Es wird stets versucht, vor der Verabschiedung eines Gesetzes zusammen mit verschiedenen Interessenvertretern aus Wirtschaft, Gesellschaft und Politik auf einen gemeinsamen Nenner zu kommen. Doch das allein ist nicht der Grund, weswegen die Niederlande als weltweiter Vorreiter in Sachen Zirkularität gelten. Vielmehr spielen geographische und wirtschaftliche Faktoren eine große Rolle: So weist der Boden nur eine geringe Menge an Rohstoffen auf, sodass ein nachhaltiger Umgang mit den knappen Reserven notwendig ist. Ein durch die natürlichen Umstände stärker ausgeprägtes Bewusstsein für den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen, macht die Niederlande zu einem Vorbild in Europa – und der Welt. [1]

### 4. C2C in der Immobilienwirtschaft

Neben den Zielsetzungen des Green Deals und des Klimaabkommens stellen die Verabschiedung der EU-Taxonomie und die damit verbundenen ESG-Kriterien die Wirtschaft vor große Herausforderungen. Denn durch diese müssen Immobilien nun unter anderem bestimmte Vorgaben zur Energieeffizienz erfüllen und Faktoren wie Grünflächenanteile oder ressourcenschonendes Bauen rücken stärker in den Fokus. Wie nachhaltiges Bauen, sowohl im Neubau als auch im Bestand, funktioniert und welche Rolle den Banken beim Vorantreiben der Kreislaufwirtschaft zukommt, zeigt sich wieder einmal am Beispiel der Niederlande. [7]

## 4.1. Nachhaltige Finanzierung als Grundpfeiler

Um eine funktionierende Kreislaufwirtschaft zu etablieren, braucht es einen aktiven Wandel der Unternehmen hin zu mehr Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein – und dieser «Changeprozess» kostet Geld. Der Staat allein kann diese Zusatzkosten nicht stemmen, sodass dem Finanzsektor eine tragende Rolle zukommt. Dieser ist sich beispielsweise die niederländische Bank ABN Amro bewusst, die es sich zur Aufgabe gemacht hat, aktiv in Nachhaltigkeit zu investieren und sie zu fördern. Unter dem Motto «Banking for better, for generations to come» hat das Bankinstitut zwei spezielle Finanzierungsmodelle ins Leben gerufen: [4]

«Sustainable Invest» ist vor allem für Investitionen in nachhaltige Projekte, Anlagen und Geschäftsmodelle und Unternehmen geeignet, die sowohl ihr ESG-Ranking, als auch ihr Image gegenüber Stakeholdern verbessern wollen. Entscheidend für die Bewilligung dieser Kreditart ist, dass von Kundenseite nachweislich alle Nachhaltigkeitskriterien erfüllt werden. Das Finanzprodukt «Sustainability-linked» greift früher: Diese Finanzierung können Unternehmen in Anspruch nehmen, die mindestens am Anfang des Prozesswandels stecken, eine gewisse Datenhistorie nachhaltiger KPIs vorweisen können und sich klar zur Verbesserung der Unternehmensaktivitäten im Bereich Nachhaltigkeit bekennen. [5] Auch die niederländische Triodos Bank setzt gezielt ein Zeichen: Kreditnehmer können für den Bau und Kauf von energieeffizienten Häusern von niedrigeren Zinssätzen profitieren. [6]

Doch neben den ökologischen Aspekten und besseren Finanzierungsoptionen rentiert sich Zirkularität beim Bau für Eigentümer auch sonst finanziell – hinsichtlich niedrigerer CO<sub>2</sub>-Abgaben und verringerter Betriebskosten nach Fertigstellung ebenso wie durch den Einsatz wiederverwendbarer Baustoffe und -teile, wodurch die Objekte zu «Rohstoffbanken» werden.

## 4.2. Dokumentation – Zauberwort und Grundlage

Damit eine Immobilie zur Rohstoff- oder auch Materialbank werden kann, braucht es eine umfassende Dokumentation. Aus diesem Grund hat madaster das erste Materialkataster für Baustoffe entwickelt. Gegründet durch den niederländischen Architekten Thomas Rau im Jahr 2017 bildet das digitale Kataster die Grundlage für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft in der Immobilien- und Baubranche. Planer, Architekten und Bauherren können den Entwurf eines Gebäudes direkt als BIM-Modell inklusive aller gebäudespezifischen Daten wie Materialart, -menge sowie die exakte Verortung eben dieser per Mausklick in das Kataster hochladen – wahlweise auch als Excel-Import. Im Anschluss werden alle eingegebenen Daten durch spezielle Informationen von Herstellern oder Umweltdatenbanken ergänzt. Die Nutzer erhalten eine detaillierte Übersicht über alle verwendeten Materialien, deren Gewicht und Zusammensetzung, Recyclingfähigkeit, Toxizität sowie, dank der Verknüpfung mit internationalen Rohstoffbörsen, den tagesaktuellen Materialwert. Auf Wunsch können auf Basis all dieser Informationen der individuelle CO<sub>2</sub>-Fußabdruck sowie ein Gebäuderessourcenpass erstellt werden. Kommt es nun zu einer Sanierung oder einem Rückbau, können die freiwerdenden Rohstoffe identifiziert und gezielt dem Materialkreislauf zugeführt werden.

## 4.3. Nachhaltigkeit in Neubau und Bestand

Nach wie vor gelten vor allem Neubauten als kreislauffähige Gebäude. Ein Beispiel für so einen nachhaltigen Neubau ist das Bürogebäude der Triodos Bank auf dem Landgut De Reehorst. Hier entstand das erste große, vollständig aus Holz bestehende und demontierbare Bürogebäude weltweit. Die Haupttragkonstruktion besteht aus nahezu 100 Prozent Holz. Alle Holzelemente wurden mittels Schraubverbindung verknüpft und alle zur Gestaltung des Innenraums verwendeten Materialien sind Naturtextilien. Im Bereich Technik setzte man auf eine Low-Tech-Installation, welche jedoch perfekt auf die hohen Anforderungen der Arbeitswelt abgestimmt ist. [16]

Der niederländische Energienetzbetreiber Liander zeigt zudem, dass es nicht immer der Neubau sein muss. Im Rahmen der unternehmenseigenen Bestrebungen eines vollständig CO<sub>2</sub>-neutralen Betriebs bis zum Jahr 2023 beauftragte der Konzern RAU Architects mit der Überarbeitung von fünf Bestandsgebäuden. Die Immobilien wurden daraufhin um eine

Klimagewächshaus zur Verbesserung der Luftqualität ergänzt und durch ein schwimmendes Dach verbunden. Der Energieverbrauch konnte dadurch verringert und der Komfort verbessert werden. Durch die Installation einer Luftheizung im neu entstandenen Atrium in Kombination mit einer Bodenwärmepumpe und rund 10.000 Quadratmetern Solaranlage wird eine positive Energiebilanz erreicht, die überschüssige Energie wird an umliegende Unternehmen verteilt. Während des Baus wurden, sofern möglich, alte Materialien wiederverwendet und sämtliche Rohstoffe in einem Ressourcenpass dokumentiert. Bei der Wahl neuer Materialien wurde explizit auf deren Recyclingfähigkeit geachtet. [17]

## 5. Deutschland und die Kreislaufwirtschaft

Am Beispiel der Niederlande zeigt sich, wie zirkuläres Bauen und Kreislaufwirtschaft in Theorie und Praxis aussehen kann. Doch wie sieht es in Deutschland aus?

Im Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung sind die Förderung der Kreislaufwirtschaft durch Senkung des primären Rohstoffbedarfs und der geplanten Einführung eines Gebäuderessourcenpasses als Ziel verankert. Denn trotz der in den vergangenen 30 Jahren etablierten kreislaufwirtschaftlichen Strukturen gibt es deutliche Defizite im Management der Rohstoffströme. Ein Grund: lineare Organisation nach dem Cradle-to-grave-Prinzip. Laut statistischem Amt der EU (Eurostat) sind lediglich 13 Prozent aller verwendeten Materialien Sekundärstoffe. Um diesen Anteil zu steigern und ressourcenschonend zu wirtschaften, entwickelt die Bundesregierung derzeit die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie, kurz NKWS. Grundlage hierfür ist das Leitbild der «Circular Economy», welches auch dem Aktionsplan der EU zugrunde liegt. Ziel ist eine zirkuläre Wirtschaft, aktive Ressourcenschonung und damit einhergehend Klimaschutz, Reduzierung der Umweltbelastung sowie Erhalt der Biodiversität.

Auf Bundeslandebene kommt Nordrhein-Westfalen eine Vorreiterrolle zu: Seit dem Frühjahr 2023 verbleibt hier der reine Materialwert zirkulärer Immobilien selbst nach Beendigung der Abschreibungsdauer als Restwert in der Bilanz des Eigentümers. [8]

Neben der Politik setzt auch die Immobilienbranche zunehmend auf Nachhaltigkeit. Neben dem Bürokomplex «The Cradle» in Düsseldorf gibt es hierzulande immer mehr Beispiele für nachhaltige Entwicklungen. Dass sich die höheren Initialkosten beim Bau auf Dauer lohnen, zeigt der Kreis Viersen: Für 16,6 Million Euro entstand hier das vollständig nach dem Konzept der Kreislaufwirtschaft geplante neue Kreisarchiv. Abbruchziegel fanden beim Bau Wiederverwendung und Holz- bzw. Betonelemente wurden mittels demontierbarer Schraubverbindungen zusammengefügt. Der Rückbau kann somit rückstandlos erfolgen. Sonnenkollektoren, Photovoltaikanlagen sowie eine Wärmepumpe und ein Eispeicher sorgen für die energetische Optimierung des Objekts. Ein ausgeklügeltes Belüftungssystem in Kombination mit dem angrenzenden Gewächshaus sorgt für optimale Luftqualität im Gebäude. Finanziell rentiert sich diese Entwicklung folgendermaßen: Das gesamte Projekt hat einen reinen Materialwert von rund 1,2 Millionen, welcher über den kompletten Lebenszyklus in der Bilanz des Kreises verbleibt. Außerdem können im Vergleich zur konventionellen Bauweise etwa 3,4 Millionen Euro für Energie und 2,3 Millionen Euro für die Instandhaltung eingespart werden und die Entscheidung für ein zirkulär geplantes Gebäude führt zu einer CO<sub>2</sub>-Steuerersparnis von circa 140.000 Euro. Somit werden über den gesamten Lebenszyklus des Kreisarchivs rund sieben Millionen Euro eingespart.

Fazit: Erste Veränderungen in den unterschiedlichen Sektoren sind erkennbar und auch in der Politik rücken die Themen Ressourcenschonung, Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft verstärkt in den Fokus.

## 6. Literatur

### 6.1. Bücher und Aufsätze

- [1] Langsdorf, Duin (2021)  
Langsdorf, Susanne; Duin, Laurens: Absolute Reduktion der Ressourcennutzung. Vorreiter Niederlande – Ein Vorbild für Deutschland?, Berlin: Ecologic Institut, 2021
- [2] McDonoug, Braungart (2002)  
McDonough, William; Braungart, Michael (Hrsg.): Remaking the way we make things. Cradle to cradle, New York: North Point Press, 2002

### 6.2. Urteile und Beschlüsse

- [3] Europäische Kommission (2020)  
Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein sauberes und wettbewerbsfähiges Europa, Brüssel, 2020, online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN>, abgerufen am 25.05.2023

### 6.3. Internetquellen

- [4] ABN AMRO (2023)  
ABN AMRO: Gemeinsam finanzieren wir Zukunft, 2023, online verfügbar unter: <https://www.abnamrocomfin.com/deu/de-de/nachhaltigkeit/>, abgerufen am 25.05.2023
- [5] ABN AMRO (2023a)  
ABN AMRO: Welches nachhaltige Finanzierungskonzept passt zu meinem Unternehmen?, 2023, online verfügbar unter: <https://www.abnamrocomfin.com/media/a5aporqs/comfin-pdf-sustainable-invest-vs-sustainable-linked.pdf>, abgerufen am 25.05.2023
- [6] AHK (2022)  
AHK: Factsheet Niederlande. Allgemeine Energiemarktinformationen, 05.05.2022, online verfügbar unter: [https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Kurzinformationen/Standardfactsheets/2022/fs-niederlande.pdf?\\_blob=publication-File&v=1](https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Kurzinformationen/Standardfactsheets/2022/fs-niederlande.pdf?_blob=publication-File&v=1), abgerufen am 25.05.2023
- [7] Breinich-Schilly (2022)  
Breinich-Schilly, Angelika: Grüne Baufinanzierung spielt eine zentrale Rolle, 05.04.2022, online verfügbar unter: <https://www.springerprofessional.de/baufinanzierung/immobilienfinanzierung/esg-spielt-bei-der-immobilienfinanzierung-eine-zentrale-rolle/20267354>, abgerufen am 25.05.2023
- [8] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2023)  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS), 2023, online verfügbar unter: <https://www.bmu.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/kreislaufwirtschaft/nationale-kreislaufwirtschaftsstrategie-nkws>, abgerufen am 06.06.2023
- [9] Deutschen Architektenblatt (2020)  
Deutschen Architektenblatt: Cradle to Cradle ist machbar: Gebaute Beispiele, 28.04.2020, online verfügbar unter: <https://www.dabonline.de/2020/04/28/cradle-to-cradle-ist-machbar-beispiele-architektur-baustoffe-c2c-infos/>, abgerufen am 24.05.2023
- [10] EPEA (2023)  
EPEA: Cradle-to-cradle, 2023, online verfügbar unter: <https://epea.com/ueber-uns/cradle-to-cradle>, abgerufen am 24.05.2023

- [11] Europäisches Parlament (2023)  
Europäisches Parlament: Plastikmüll und Recycling in der EU: Zahlen und Fakten, 18.01.2023, online verfügbar unter: [https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20181212STO21610/plastikmull-und-recycling-in-der-eu-zahlen-und-fakten?at\\_campaign=20234-Economy&at\\_medium=Google\\_Ads&at\\_platform=Search&at\\_creation=DSA&at\\_goal=TR\\_G&at\\_audience=&at\\_topic=Plastic\\_Waste&gclid=Cj0KCQjwyLGjBhDKARIsAFRNqW-o-j460qRikFJI1UfJt-1x6ziGzXp\\_KCw1Zpu\\_pdGgAMMdSc6PYqQaAoVeEALw\\_wcB](https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20181212STO21610/plastikmull-und-recycling-in-der-eu-zahlen-und-fakten?at_campaign=20234-Economy&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=DSA&at_goal=TR_G&at_audience=&at_topic=Plastic_Waste&gclid=Cj0KCQjwyLGjBhDKARIsAFRNqW-o-j460qRikFJI1UfJt-1x6ziGzXp_KCw1Zpu_pdGgAMMdSc6PYqQaAoVeEALw_wcB), abgerufen am 23.05.2023
- [12] Europäisches Parlament (2023a)  
Europäisches Parlament: Wie will die EU bis 2050 eine Kreislaufwirtschaft erreichen? 18.01.2023, online verfügbar unter: [https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20210128STO96607/wie-will-die-eu-bis-2050-eine-kreislaufwirtschaft-erreichen?at\\_campaign=20234-Economy&at\\_medium=Google\\_Ads&at\\_platform=Search&at\\_creation=DSA&at\\_goal=TR\\_G&at\\_audience=&at\\_topic=Circular\\_Economy&gclid=Cj0KCQjwjryjBhD0ARIsAM-LvnF8P6rf3hUsTA7DrXoXm4U\\_W5-f-eAHTH\\_W5WL1zc5hmLOfx8b97m2saArQPEALw\\_wcB](https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20210128STO96607/wie-will-die-eu-bis-2050-eine-kreislaufwirtschaft-erreichen?at_campaign=20234-Economy&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=DSA&at_goal=TR_G&at_audience=&at_topic=Circular_Economy&gclid=Cj0KCQjwjryjBhD0ARIsAM-LvnF8P6rf3hUsTA7DrXoXm4U_W5-f-eAHTH_W5WL1zc5hmLOfx8b97m2saArQPEALw_wcB), abgerufen am 25.05.2023
- [13] Europäisches Parlament (2023b)  
Europäisches Parlament: Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen: Ziele und Maßnahmen der EU, 03.05.2023, online verfügbar unter: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/priorities/klimawandel/20180305STO99003/reduktion-von-co2-emissionen-ziele-und-massnahmen-der-eu>, abgerufen am 25.05.2023
- [14] H&M (2023)  
H&M: Die wichtigsten Trends: Recyceln und Reparieren, 2023, online verfügbar unter: [https://www2.hm.com/de\\_de/nachhaltigkeit-bei-hm/our-work/close-the-loop.html](https://www2.hm.com/de_de/nachhaltigkeit-bei-hm/our-work/close-the-loop.html), abgerufen am 23.5.2023
- [15] Kraaijvanger Architecten (2023)  
Kraaijvanger Architecten: Municipal Office Venlo, 2023, online verfügbar unter: <https://www.kraaijvanger.nl/en/projects/city-hall-venlo/>, abgerufen am 23.5.2023
- [16] RAU Architects (2023)  
RAU Architects: Triodos Bank Niederlande, 2023, online verfügbar unter: <https://www.rau.eu/portfolio/triodos-bank-nederland/>, abgerufen am 05.06.2023
- [17] RAU Architects (2023a)  
RAU Architects: Liander, 2023, online verfügbar unter: <https://www.rau.eu/portfolio/liander/>, abgerufen am 05.06.2023
- [18] The Cradle (2023)  
The Cradle GmbH & Co. KG: Für die Zukunft unserer Kinder: Ein Bürogebäude aus Holz, 2023, online verfügbar unter: <https://www.the-cradle.de/>, abgerufen am 23.05.2023
- [19] Umwelt Bundesamt (2022): Abfallaufkommen (<https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfallaufkommen#deutschlands-abfall>)
- [20] Wille (2019)  
Wille, Joachim: Ein Haus wie ein Baum, 09.01.2019, online verfügbar unter: <https://www.fr.de/wirtschaft/haus-baum-11072839.html>, abgerufen am 23.5.2023
- [21] Zeit Online (2018)  
Zeit Online: Weltbank rechnet für das Jahr 2015 mit 3,4 Milliarden Tonnen Müll, 21.09.2018, online verfügbar unter: [www.zeit.de/wissen/umwelt/2018-09/umweltverschmutzung-weltbank-muell-zunahme-milliarden-tonnen-plastik#:~:text=Die%20Menge%20an%20M%C3%BCll%2C%20die,Milliarden%20Tonnen%20pro%20Jahr%20steigen](http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2018-09/umweltverschmutzung-weltbank-muell-zunahme-milliarden-tonnen-plastik#:~:text=Die%20Menge%20an%20M%C3%BCll%2C%20die,Milliarden%20Tonnen%20pro%20Jahr%20steigen), abgerufen am 23.05.2023
- [22] Zeit Online (2022)  
Zeit Online: Nur neun Prozent des weltweit verwendeten Plastiks wird recycelt, 22.02.2022, online verfügbar unter: [https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2022-02/oecd-bericht-plastik-muell-recycling?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2022-02/oecd-bericht-plastik-muell-recycling?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F), abgerufen am 23.05.2023



# Wiederverwendung tragender Bauteile

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Graf  
t-lab Holzarchitektur und Holzwerkstoffe,  
RPTU Kaiserslautern-Landau  
Kaiserslautern, Deutschland





# Wiederverwendung tragender Bauteile

Die bisher gängige Praxis der linearen Bauwirtschaft (take – make – waste) des Rohstoffabbaus, der Baukomponenten- und Bauteilherstellung und deren Nutzung, des globalen Handels sowie des Abfallaufkommens durch den Gebäudeabriss bis hin zur thermischen Verwertung führt zur Ressourcenvernichtung und zur ungebremsten Anreicherung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Erdatmosphäre. Die lineare Bauwirtschaft muss durch eine Bauwende zu Gunsten einer klimaneutralen Kreislaufwirtschaft überwunden werden – eine Ressourcenrevolution ist dafür unumgänglich [1]. Für die wegweisenden Maßnahmen haben wir noch ca. 10 Jahre Zeit [2]. Führende Wissenschaftler, Politiker und Verbände fordern dafür eine Verzehnfachung der Forschungsförderung im Bauwesen [3]. Das muss unter Einbeziehung gesellschaftlicher Transformationsprozesse dann eine sozial-ökologische Bauwende sein, mit den Zielen einer umfassenden Ressourceneinsparung und Abfallvermeidung.

## 1. Kreislauffeffektives Bauen

Der Neubau von monofunktionalen Gebäuden ist aus Sicht der Langlebigkeit nicht mehr zeitgemäß und dringend zu vermeiden. Nutzungsflexibel werden ein- oder mehrgeschossige Bauwerke, wenn die statische Struktur für alle unterschiedlich geplanten Nutzungen für die gesamte Lebensdauer eines Bauwerks unveränderlich bleibt. Diese «statischen Gebäudegrundformen» kreislauffeffektiven Bauens bestehen dann grundsätzlich entweder aus Einraumssystemen oder aus Skelettbauten (Abb. 1 aus [4]).

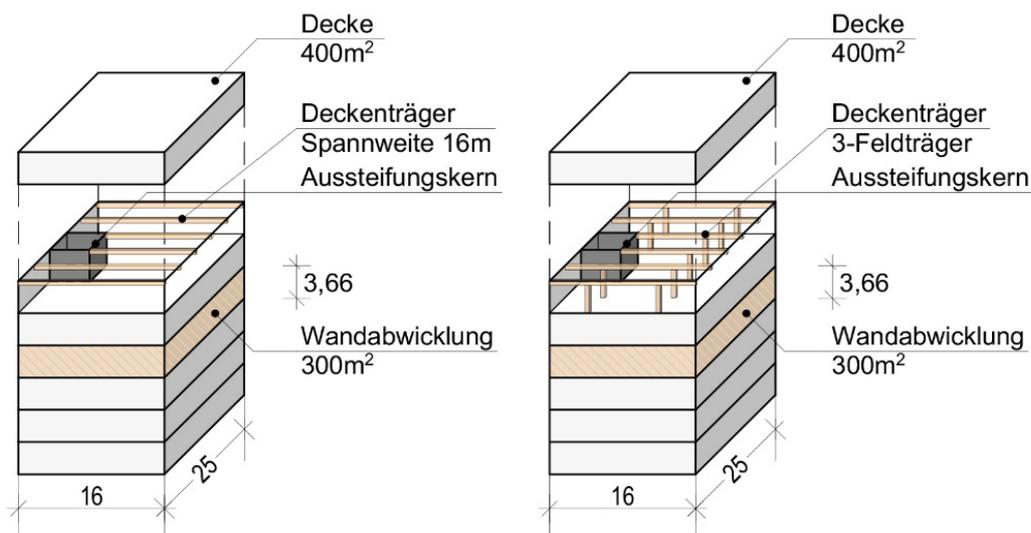


Abbildung 1: «Statische Gebäudegrundformen» kreislauffeffektiven Bauens (schematische Darstellung). Links: Freier Grundriss / Einraumsystem als z. B. Aufstockung eines Gebäudebestandes oder auch Hallenbauten; rechts: Skelettbau als z. B. mehrgeschossiger Neubau [4]

Nach einer Auswertung von 600 Tragwerken [5] verursachen Deckenkonstruktionen (43%) sowie aussteifende und lastabtragende Wandkonstruktionen (21%) ca. 64% der grauen Emissionen der Tragwerke. Betrachtet man zusätzlich den Anteil der Fundamentierung, werden bereits ca. 84% der durch das Tragwerk verursachten grauen Emissionen erzeugt. Um zukünftig die grauen Emissionen deutlich zu reduzieren, muss jeder Neubau/Umbau neben der Nutzungsflexibilität kreislauffeffektiv konstruierte Decken- und vor allem Außenwandkonstruktionen aufweisen, die wieder- und weiterverwendet werden können. Außerdem ist die Fundamentierung auf ein Minimum (z. B. durch Mikropfähle und Bohrpfähle) zu reduzieren.

Wie plant und entwickelt man kreislauffeffektive Bauwerke? Dazu ist die Kreislauffähigkeit von Bauwerken in fünf (baukonstruktive) Hierarchieebenen (Abb. 2 aus [4]) zu gliedern, die konsequent angewandt werden müssen: Gebäudeebene, Bauteilebene, Bauelementebene, Baukomponentenebene, Materialebene.

Die Gebäudeebene: Die Nutzungsneutralität ermöglicht Flexibilität sowie Anpassungsfähigkeit und Veränderbarkeit, sie bedeutet damit Langlebigkeit der Grundrissstruktur. Umnutzungs- und Aufstockungspotentiale im Bestand bedeuten Ressourcenerhalt sowie Einsparungen grauer Emissionen.

Die Bauteilebene (z. Bsp. Außenwand, Geschossdecke, Innenwand etc.): Die Bauteilebene besteht aus geschichteten Bauelementgruppen. Der zerstörungsfreie Rück-, bzw. Ausbau des gesamten (standardisierten) Bauteils garantiert die Wiederverwendung an anderer Stelle, in anderen Bauwerken.

Die Bauelementebene (z. Bsp. Tragelement / Konstruktionsschicht, Fenster, Türe, Sonnenschutzelement etc.): Die Bauelemente bestehen aus Baukomponenten. Die standardisierte Elementierung gliedert systematisch das Bauteil und steigert die Wieder-verwendbarkeit. Die Ausbaufähigkeit aus der Bauteilebene erlaubt in Abhängigkeit der tektonisch lösbaren Elementgruppen (z. B. außen- und raumseitige Bekleidung) die Anpassung an Austauschzyklen.

Die Baukomponentenebene (z. Bsp. Rähm, Schwelle, Holzwerkstoffplatte, Verbindungsmittel, Elektrodose etc.): Standardisierung, Sortenreinheit und reversible Verbindungen garantieren die Rückbaubarkeit aus der Bauelementebene und die anschließende Wieder- und Weiterverwendung der Komponenten. Die zerstörungsfreie Rückbaubarkeit (Reversibilität) wird durch formschlüssige Verbindungen erreicht.

Die Materialebene (z. Bsp. Holz, Lehm, Beton, Stahl, Fasern etc.): Kreislauffähig sind Materialien wie Holz oder Lehm im biologischen Kreislauf bzw. wie Stahl und Kupfer im technischen Kreislauf. Die sortenreine Wiederverwertung (Recycling) verstärkt die Kreislaufwirkung.

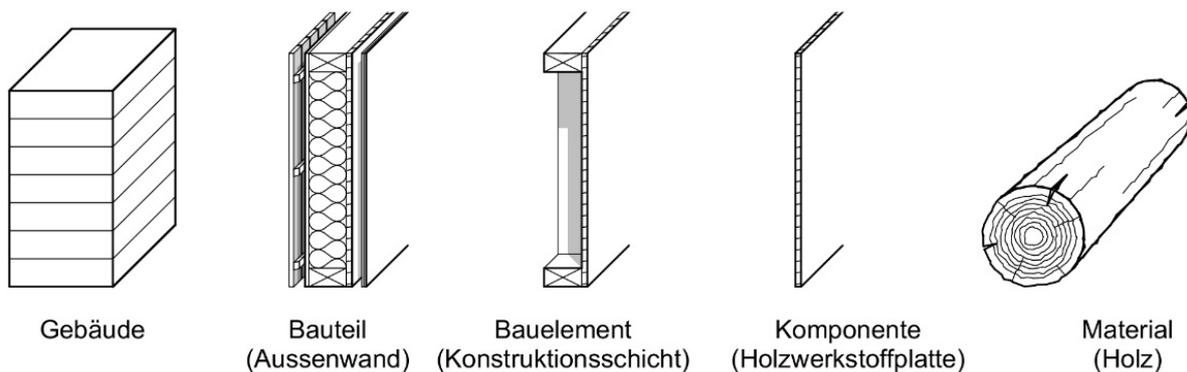


Abbildung 2: Die verschiedenen Ebenen der Kreislauffähigkeit von Bauwerken [4]

In [6], [7], [8], [9], [10] wird aufgezeigt, wie kreislauffähiges Bauen gelingen kann. Im «konstruktiven Holzbau» bedeutet kreislauffähiges Bauen neben der Langlebigkeit durch Nutzungsflexibilität im Wesentlichen:

- Ressourceneffiziente und ressourceneffektive Tragwerke, elementiert und standardisiert
- Reversible, form- und kraftschlüssige Verbindungen
- Materialhybride aus unterschiedlichen Holzwerkstoffen
- Einsatz neuartiger Baukomponenten

Zwei Beispiele sollen das «neue Bauen mit Holz» verdeutlichen. Ressourcenschonend ist z. B. die Wiederverwendung von Brettsperrholzplatten aus dem Rückbau von Gebäudedecken oder -wänden oder aus Produktionsresten von Fenster- und Türausschnitten zu neuen Deckenelementen (Abb. 3). Buchen-Furnierschichtholzlamellen beispielsweise bilden zusammen mit den Brettsperrholz-Produktionsresten tragfähige, elementierte und standardisierte Balkendecken, die reversibel werkseitig vorgefertigt und auf der Baustelle endmontiert werden. Zu beachten sind schubfeste Verbindungen zur zusätzlich notwendigen Ausbildung von Deckenscheiben.

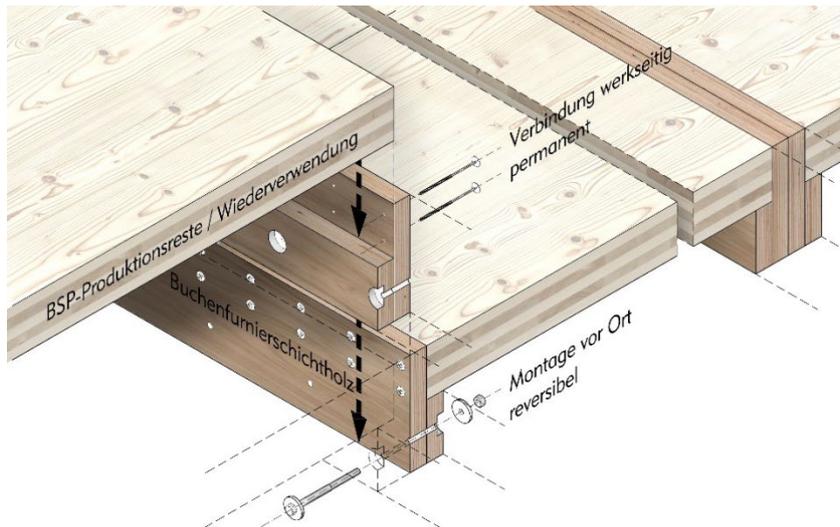


Abbildung 3: Standardisiertes, reversibles Deckenelement.  
Quelle: t-lab Holzarchitektur und Holzwerkstoffe (t-lab) (aus [11]).

Beispiel 2: In einem von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) geförderten Projekt [12] wird die Verwendung von Buchenholz niedriger Qualität aus dem Stamminneren für I-förmige Dachträger großer Spannweite untersucht (Abb. 4).

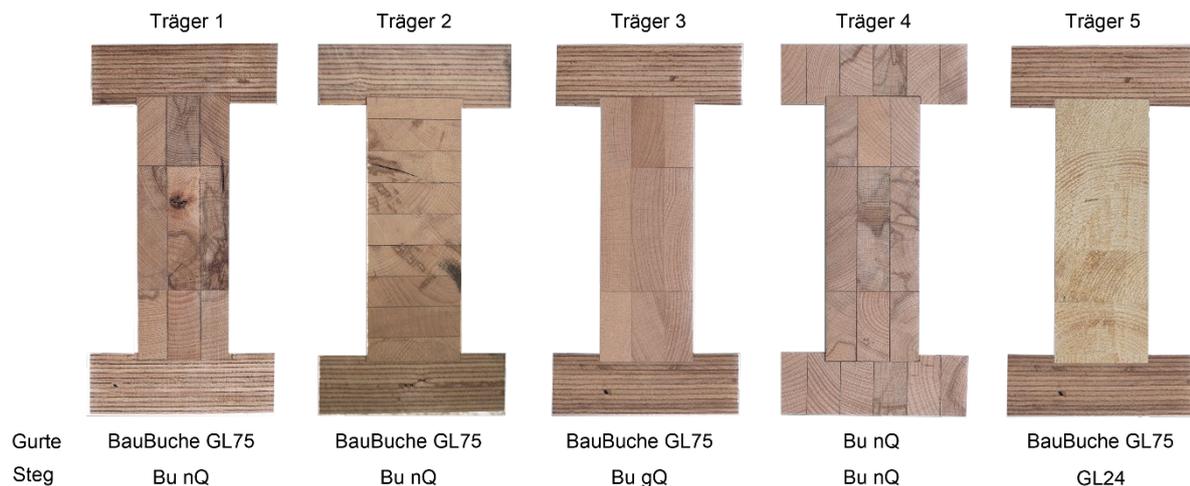


Abbildung 4: I-förmige Dachträger aus Buchenholz niedriger Qualität aus dem Stamminneren [12].  
Quelle: t-lab

Der beanspruchungsoptimierte I-Träger ist durch die digitalen Fertigungsprozesse dann wirtschaftlich herstellbar, wenn er standardisiert in Serie hergestellt wird. Kreislauffeffektiv wird der I-Träger, wenn er zerstörungsfrei rückbaubar und damit zur Wiederverwendung geeignet in das Gesamttragwerk eingebunden ist (Abb. 5 bis Abb. 6). Ist die Architektur und die Konstruktion dafür entworfen, sind neuartige Baukomponenten sinnvoll und die aufwändige Erforschung der mechanischen Eigenschaften der Komponenten und reversiblen Verbindungen gerechtfertigt. Diese Trägerform ist bei Hallentragwerken von 10 m bis ca. 35 m Spannweite einsetzbar. Beispielhaft ist in Abb. 5 eine Werkhalle mit 16 m Spannweite dargestellt. Das einfache Bauen mit wenigen reversibel aufgebauten Konstruktionsschichten (Dach, Träger, Wand) erhöht die Kreislauffähigkeit von Hallentragwerken.



Abbildung 5: Beispielhafter, kreislaueffektiver Sporthallenentwurf (28 m Spannweite, 1,50 m Trägerabstand und lichte Raumhöhe von 7 m) mit standardisierten I-profilierten Buchenholzhybridträgern auf Stützen [12]. (Visualisierung: t-lab / Nicolai Becker Images, Stuttgart)

Standardisierung von einfeldrigen Vollwandträger mit der Forderung nach Reversibilität und Wiederverwendbarkeit entsteht durch Elementierung der Trägerform, der angrenzenden Bauteile von Dach, Stütze und Wand sowie der Verbindungstechnik zwischen den Bauelementen. Ist der Vollwandträger aus verschiedenen Holzwerkstoffen, wie BSP, BSH oder Furnierschichtholz (FSH) zusammengesetzt, ist für den daraus entstehenden Holzhybridträger die «Sortenreinheit» auch als verklebter Verbundträger gegeben. Gleichzeitig sind breite Gurte der I-profilierten Träger sinnvoll, um über reversible Verbindungen zwischen Hauptträger und Dach bzw. Hauptträger und Stützen, die für sich getrennt elementiert und standardisiert herstellbar sind, eine zerstörungsfreie Rückbaubarkeit zur Wiederverwendung zu garantieren (Abb. 6 und Abb. 7).

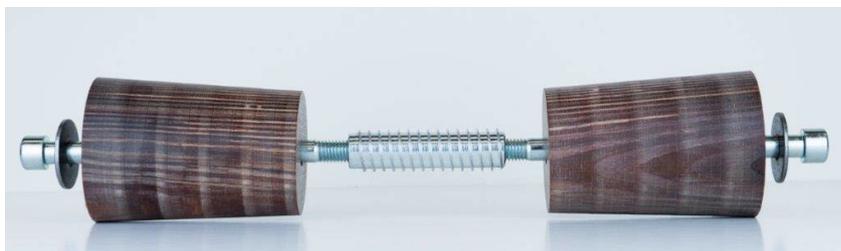


Abbildung 6: KP-Konusdübel, Einschraubmuffe, Zylinderkopfschrauben und Unterlegscheiben zur Auflagerfixierung des gabelgelagerten I-profilierten Trägers nach Abb. 7. (Foto: t-lab)

Konusdübel aus Kunstharzpressholz (KP) eignen sich als reversible Verbindungen zur Lagefixierung von Trägern auf Stützen (Abb. 6) und alternativ zu KP-Scheibendübel auch zur Montage der großformatigen Dachplatten aus BSP auf den Trägern großer Spannweite von Hallentragwerken (Abb. 5). KP ist ein unter hoher Temperatur stark verdichtetes Buchen-Furnierschichtholz, imprägniert und verfestigt mit Phenolharz. Die Festigkeiten sowie die Dehnsteifigkeit sind aufgrund der Faserverdichtung höher als bei unverdichtetem Buchen-Furnierschichtholz (BauBuche) und damit auch viel höher als bei Nadelholz.

KP ist dauerhaft, formstabil und hoch tragfähig (Querdruckfestigkeiten je nach Verdichtungsgrad wie Stahl) und damit als reversible Verbindung geeignet. Die Konusform erlaubt Bauteilgenauigkeiten auszugleichen. Zudem verhindert die Konusform das Ablösen der zu verbindenden Bauelemente.

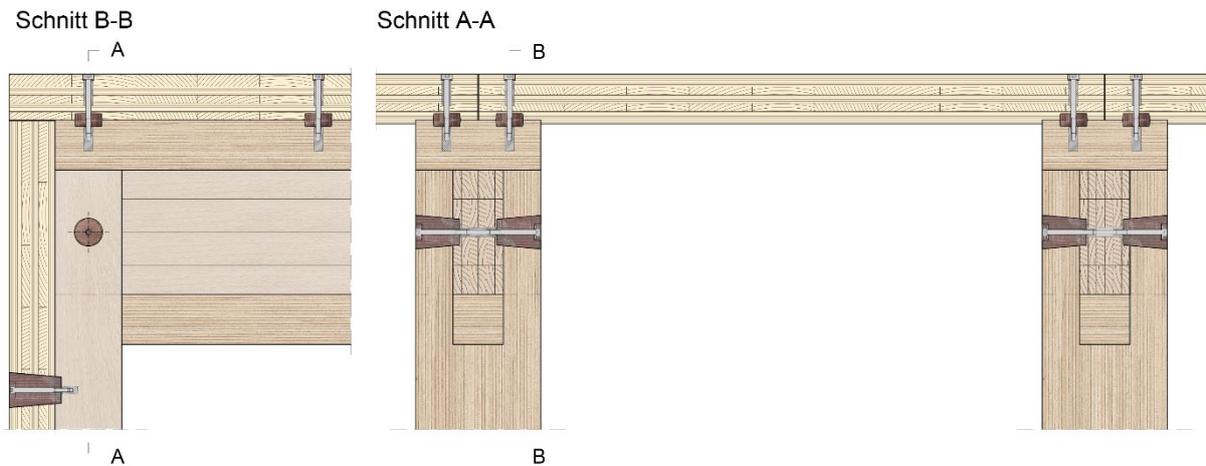


Abbildung 7: Deckentragwerk mit reversibler Dach- und Wandkonstruktion und reversibler Gabellagerung I-profilierter Träger auf Stützen. Ansicht links; Schnitt rechts [13].

Die Umsetzung dieser Innovationen in den Maßstab 1:1 sowie die Verifizierung reversibler Verbindungen und Konstruktionen gelingen nur in gut ausgestatteten Reallaboren. Wir, die wir die Bauwende im Blick haben, fordern daher von der Politik eine flächendeckende Einrichtung von Reallaboren an unseren Universitäten.

## 2. t-lab Campus Diemerstein

Der «t-lab Campus Diemerstein» der RPTU liegt mitten im Pfälzer Wald in der Nähe von Kaiserslautern. Er soll, auch weit über die Holzbauforschung des «t-lab Holzarchitektur und Holzwerkstoffe» hinaus, mittelfristig die Keimzelle für die kreislaueffektive Bauforschung in Rheinland-Pfalz sein mit nationaler und internationaler Strahlkraft und damit hoher Anziehungskraft für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Schwerpunkt ist das effiziente, konsistente und suffiziente Bauen. Forschungen zu reversiblen, standardisierten und elementierten Holzwerkstoffen spielen eine übergeordnete Rolle im Forschungsschwerpunkt t-lab. Die Ressourceneffektivität steht im Vordergrund. Die einzelnen Forschungs- und Research-Design-Build-Projekte sind unter «[www.architektur.uni-kl.de/tlab](http://www.architektur.uni-kl.de/tlab)» einzusehen. Das erste Bauwerk, die Werk- und Forschungshalle (Abb. 8) bildet den Auftakt des Campus.



Abbildung 8: Auftaktgebäude des t-lab Campus Diemerstein: Werk- und Forschungshalle.

### 3. Werk- und Forschungshalle Diemerstein

Die Werk- und Forschungshalle ist zu 100% rückbaubar und kreislaueffektiv geplant (Abb. 8 und Abb. 9). Die Umsetzung erfolgt unter anderem mit Studierenden als Research-Design-Build-Projekt. Das rund 360 qm große Gebäude bietet im Innenraum eine flexibel nutzbare Fläche, die auch für Workshops, Seminare und Veranstaltungen genutzt werden kann. Die Elemente des Tragwerks, der Hülle und des technischen Ausbaus bleiben ablesbar.



Abbildung 9: Innenansicht Auftaktgebäude des t-lab Campus Diemerstein: Werk- und Forschungshalle.

Die Werk- und Forschungshalle ist 12,5 m breit, 27,5 m lang, 7 m hoch bei ca. 4 m Traufhöhe. Das Tragwerk besteht aus zwei Giebelwänden und 10 Dreigelenkrahmen aus Buchen-Furnierschichtholz (BauBuche GL 75) und Kunstharzpressholz (KP) im Abstand von 2,50 m. Die 12,5 m weit spannenden Dreigelenkrahmen werden durch die vertikalen

und horizontalen Lasten aus dem Dach- und Wandtragwerk beansprucht und übernehmen auch die Queraussteifung der Halle. Das Dach- und Wandtragwerk besteht nach dem Prinzip des einfachen Bauens aus einschichtigen Dach- und Wandplatten aus Brettspertholz (BSP), die 2,50 m zwischen den Dreigelenkrahmen von Fußkante bis Traufkante und von Traufkante bis Firstkante spannen. Die BSP-Platten dienen auch der Längsaussteifung.

Die Gebäudehülle als Ganzes besteht aus vorgefertigten dreischichtigen Bauelementen: Weichfaserplatte, Konterlattung, Douglasienfassade (sägerau – Abb. 10) – mit 2,50 m Breite zwischen den Dreigelenkrahmen. Diese vorgefertigten Elemente werden reversibel auf den BSP-Platten befestigt.



Abbildung 10: Werk- und Forschungshalle: Douglasienfassade, in 1,25 m Elementen vorgefertigt.

Im Bereich der aufgeständerten Bodenplatte und der Fundamente wird auf Stahlbeton verzichtet, indem historisch bekannte Kriechkellerkonstruktionen als Vorbild dienen (Abb. 11). Das Bauwerk schließt nach unten mit einer selbsttragenden 160 mm starken BSP-Bodenplatte ab, die im Rasterabstand von 2,50 m auf HEA-Trägern aufliegt. Bodenplatte und Rahmentragwerk werden auf Mikropfählen rückbaubar gegründet.



Abbildung 11: Detailmodell Werk- und Forschungshalle: Kriechkellerkonstruktion.  
Quelle: t-lab

Die konstruktiven Besonderheiten der reversiblen Bauteilanschlüsse fußt auf diversen Forschungsergebnissen des t-lab. Für das Primärtragwerk kommen erstmals hocheffiziente Ringknoten aus Kunstharzpressholz (KP) zum Einsatz (Abb. 12). Die bauliche Umsetzung wird mit ausgesuchten Firmen für das Haupttragwerk durchgeführt, da die Forderung der Reversibilität wesentlich höhere Anforderungen an die Bauteilgenauigkeiten der Verbindungen stellt als normativ gefordert.



Abbildung 12: Traufknoten aus Kunstharzpressholz (KP).  
Quelle: DEUTSCHE HOLZVEREDELUNG Schmeing GmbH & Co. KG

Der Dreigelenkrahmen selbst besteht aus BauBuche-Stäben und KP-Knoten, die komplett in ihre Einzelteile sortenrein zerlegbar sind (Abb. 11 und Abb. 13). Die Rahmenecken am Trauf sind fachwerkartig aufgelöst – Druckstäbe innen zum Raum hin, Zugstäbe außen entlang von Wand und Dach. Der Diagonalstab ist druckbeansprucht. Alle Druckstäbe sind 160 mm breit und 200 mm hoch. Alle Zugstäbe, die durch die Schnee- und Windbeanspruchungen auch querkraft- und biegebeansprucht sind, sind 160 mm breit und 300 mm hoch. Die Verschneidung der Druck- mit den Zugstäben erfolgt über Treppenversätze [14]. Die Wand- und Dachelemente werden auch hier durch Konusdübel aus KP mit den Dreigelenkrahmen formschlüssig und damit ebenfalls reversibel verbunden (vergl. Abb. 6). Da die Konusdübel universell zwischen beliebigen Bauelementen einsetzbar sind, werden sie Konusadapter genannt. Zur Lagesicherung werden rein auf Zug beanspruchte Zylinderkopfschrauben verwendet, die in Gewindemuffen und nicht direkt ins Holz eingedreht werden, um sicherzustellen, dass die Rückbaubarkeit auch nach Jahrzehnten gewährleistet ist.



Abbildung 13: Werk- und Forschungshalle: Bauphase – Reversible Verbindungen aller Bauelemente mit formschlüssigen Verbindungen, z. B. mit Konusadaptern

Sämtliche Knoten: Fußpunkt, Traufknoten und Firstknoten sind kraft- und formschlüssig miteinander verbunden. Jeweils zwei Gewindestangen M16 GK 8.8 werden gegen die Innenwand der KP-Knoten und die in den BauBuche-Stäben eingelassenen Quadratbolzen (50 mm/50 mm) vorgespannt. Die Quadratbolzen liegen 300 mm von der Kontaktfläche der beiden Materialien entfernt. In den Kontaktflächen werden zur Übertragung der Querkräfte und zur Knotenversteifung formschlüssige Anschlüsse vorgesehen (Abb. 13).

Dass die Anforderung der Reversibilität nicht als Restriktion der Gestaltungsfreiheit verstanden werden darf, wurde im Konstruktionsentwurf zum Ausdruck gebracht. Ästhetik und Umweltschutz sind per se keine Widersprüche.

## 4. Ausblick

Klimapositive Bauweisen, Kreislaufwirtschaft mit geschlossenen Stoffkreisläufen, Effizienz, Konsistenz und Suffizienz sowie Robotik, Künstliche Intelligenz (KI) und digitale Transformation sind nur einige Begriffe, die aufzeigen, wie sich aktuell das Bauwesen in einem Wandel befindet. Der sechste Kondratjew-Zyklus [15] ist im vollen Gange. Wir brauchen jetzt eine Bauwende. Die Wissenschaft muss dafür ein Steuerungselement zu einer klimaneutralen Bauwirtschaft sein. Sinnvoll erscheint, die Effizienzrevolutionen von Ressourcen- und Energieverbrauch neben der Wirtschaft auch der Wissenschaft aufzutragen. Überlassen wir der Bauwirtschaft allein die Entwicklung der Bauwende, wird durch den Einsatz von Digitalisierung und KI ein vorrangig wirtschaftlich geprägter Innovationschub gefördert. Es wäre höchst unwahrscheinlich, wenn dies auch mit einem Maximum an Ressourceneffektivität einherginge. Kreislauffeffiziente, klimarelevante Forschung gehört in Reallaboren umgesetzt und in 1:1 Modellen und Bauwerken demonstriert. Dies setzt aber ein völlig verändertes Förderwesen für die für die Bauwende forschenden Institute und Fachbereiche voraus.

Aus Sicht einer klimarelevanten, ökonomischen und sozialen Bauwende sind unabhängige und ergebnisoffene Forschungen zu intensivieren. Das Förderwesen für die Hochschulen durch die Länder und den Bund sind dazu grundlegend und sofort zu erneuern, indem auf monetärer Basis Personal, Räumlichkeiten und Ausstattung deutlich aufgestockt und interdisziplinäre Forschungsumfelder unbürokratisch geschaffen werden. Geschieht dies nicht, werden klimarelevante Innovationen und Technologien der Bauwirtschaft weitestgehend unterbleiben – das Fortschreiten der Klimakrise gefestigt. Dies wäre nicht weniger als ein Versagen der Politik.

## 5. Literaturverzeichnis

- [1] Weizsäcker, E. U. ; Hargroves, K. ; Smith, M. H. (2010) Faktor Fünf – Die Formel für nachhaltiges Wachstum. Droemer Verlag, München
- [2] Figueres, C. et al. (2017) Three years to safeguard our climate. In: Nature 546, 593–595 (29 June 2017) doi:10.1038/546593a
- [3] BAUWENDE 2030 – Ein Appell. Initiatoren: Graf, J.; Winter, S.; Birk, S. (15.07.2021)
- [4] Graf, J.; Birk, S.; Poteschkin, V.; Braun, Y. (2022) Kreislaueffektive Bauwende – Auf dem Weg zu einer neuen Tektonik. Bautechnik. (doi.org/10.1002/bate.202100111)
- [5] Watson, N. (2020) Lean design: 10 things to do now. [Hrsg] Institution of Structural Engineers. Abgerufen am 04.07.2022 unter thestructuralengineer.org
- [6] Hillebrandt, A. et al. (2018) Atlas Recycling – Gebäude als Materialressource. 1. Aufl. München: Detail Business Information GmbH
- [7] Heisel, F.; Hebel D. E. [Hrsg] Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen – Die Stadt als Rohstofflager. Fraunhofer IRB Verlag
- [8] Kaufmann, H.; Krötsch, S.; Winter, S. (2017) Atlas Mehrgeschossiger Holzbau. München: Detail Business Information GmbH.
- [9] Fischer, O.; Lang, W.; Winter, S. (2019) Hybridbau – Holzaußenwände. 1. Aufl. Detail Business Information GmbH
- [10] Graf, J. (2020) Entflechtung von Wachstum und Ressourcenverbrauch – Zirkuläre Wertschöpfung im Holzbau. Bautechnik 97, Sonderheft Holzbau, Ausgabe 2, S. 108-115 (Graf, J.; Shi, W.; Birk, S. (2022) Kreislaueffektives Potential von Holz im Hallenbau. In: Bautechnik 99, Sonderheft Holzbau, Ausgabe 1, S. 2-12 (doi.org/10.1002/bate.202000078)
- [11] Graf, J. et al. (2019) Potentiale der Verwendung von Brettspertholz-Produktionsabfällen zur Herstellung von Bauteilen im Holzbau – Recycling von Brettspertholz-Produktionsabfällen. Forschungsbericht, Forschungsinitiative ZukunftBAU. Fraunhofer IRB, F 3204.
- [12] Graf, J.; Birk, S.; Klopfer, R.; Shi, W. et al. (2022) Standardisierte Buchenholz-Hybridträger großer Spannweite – Stoffsteigerungspotential von Produktspeicher und stofflicher Substitution durch Buchenholzprodukte niedriger Holzqualität. Forschungsbericht, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Förderkennzeichen 22008717
- [13] Graf, J.; Shi, W.; Birk, S. (2022) Kreislaueffektives Potential von Holz im Hallenbau. In: Bautechnik 99, Sonderheft Holzbau, Ausgabe 1, S. 2-12 (doi.org/10.1002/bate.202100105)
- [14] Enders-Comberg, M.; Blaß, H. J. (2014) Treppenversatz – Leistungsfähiger Kontaktanschluss für Druckstäbe. In: Bauingenieur 89, H. 4, S. 162-171.
- [15] Kondratjew, N. D. (1926) Die langen Wellen der Konjunktur. In: Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik. Band 56, S. 573–609

# Re-Use – Bauteile wiederverwenden

3 Projekt: ELYS, K118 & Unit Sprint

Oliver Seidel  
baubüro in situ ag/  
Zirkular GmbH  
Basel, Schweiz





# Bauteile wiederverwenden

## 1. insitu+Netzwerk und ... ... warum wir machen was wir machen

### 1.1. Das baubüro in situ & sein Netzwerk

Baubüro in situ arbeitet bereits seit über 20 Jahren nahezu ausschließlich im Bestand, mit dem Ziel, bestehendes zu nutzen, Abfall zu vermeiden, Ressourcen zu schonen und den Charme des Bestehenden zu bewahren.

baubüro in situ ag

**DENKSTATT**sàrl

**ZIRKULAR**

[UNTERDESSEN]  
Wir organisieren Zwischennutzungen.

Das baubüro in situ arbeitet eng in einem Netzwerk mit gleichgesinnten Firmen zusammen und ergänzt sich mit diesen:

**Denkstatt sàrl** ist eine Art Projektentwickler und befasst sich auf verschiedenen Ebenen mit gegenwärtigen städtebaulichen Transformationsprozessen im urbanen und ruralen Kontext in der Schweiz und auch im Ausland. <https://www.denkstatt-sarl.ch>

**Unterdessen** organisiert Zwischennutzungen in Projekten, die in der Planung sind, aber schon leer stehen. Eine Win-Win-Situation für Zwischennutzer, Eigentümer und kulturelle Vielfalt. <https://www.underdessen.ch/>

**Zirkular GmbH** steht als Fachplaner für zirkuläres bauen und Wiederverwendung den Architekten, Bauherren und Kommunen zur Seite. <https://zirkular.net/>

### 1.2. Warum machen wir das?

Das 21. Jahrhundert ist das Jahrhundert der Städte und Metropolen.  
(Dirk Messner heute Präsident Umweltbundesamt)

Bis 2050 wird sich die Bevölkerungszahl in den Städten weltweit verdoppeln.

Und dementsprechend auch die urbanen Strukturen.

Bis 2050 werden ca. 7 Milliarden in Städten leben. So viel Menschen wie heute auf der ganzen Welt!

Um die gesteckten Klimaziele zu erreichen können wir in der Form wie heute – mit Beton, Stahl und Aluminium – nicht weiterbauen.

(Beispiel MegaCity: Tokio (inkl. Yokohma u. Kawasaki), mit rd. 38 Mio. Einwohnern die grösste Metropole der Welt!)

Basel als Stadtkanton, umschlossen von Frankreich, Deutschland und dem Nachbarkanton Baselland, ist größtenteils gebaut und wir sind uns, heute einmal mehr, sicher, dass man Gebäude nicht einfach abreißen kann um sie anschließend wieder neu zu bauen.

Die Altbausubstanz stellt in der Schweiz die größte Bauressource dar.

Gleichzeitig generiert die Bautätigkeit mit 84% den mit Abstand größten Teil des Abfallaufkommens in der Schweiz. Neben den grossen Mengen an Aushub- und Ausbruchmaterial (57 Mio. t bzw. 65% des gesamten Abfallaufkommens) generiert sie jährlich rund **17 Mio. t** (bzw. 19%) Rückbaumaterial.

Die Mengen an Rückbaumaterialien, die noch heute auf Deponien abgelagert oder in KVA verbrannt werden, sind mit über 5 Mio. t nach wie vor beachtlich.

Der Material-Fußabdruck (Raw Material Consumption, RMC) zeigt die Gesamtmenge der Rohstoffe, die in der Schweiz oder im Ausland benötigt werden, um die schweizerische Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen zu decken.

Zwischen 2000 und 2019 stellten die nichtmetallischen Mineralien mit durchschnittlich 43% die am meisten verbrauchte Materialkategorie dar. Sie werden hauptsächlich in der Baubranche eingesetzt (Sand, Kies usw.).

Quelle:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-rohstoffkonsum#die-wichtigsten-fakten>

### 1.3. Was heisst «Bauen im Kreislauf»?

Wie am Beispiel Basel-Stadt schon genannt, leben wir in einer gebauten Umwelt. Wir beginnen nicht von vorn.

An erster Stelle steht daher für uns die Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden, Bauteilen und Materialien durch Ihre Weiter- und Wiederverwendung.

In Kombination mit der Verwendung von Materialien mit einer möglichst geringen Umweltbelastung.

Und so zusammengefügt, dass sie zukünftig möglichst zerstörungsfrei rückbau- und wiederverwendbar sind.

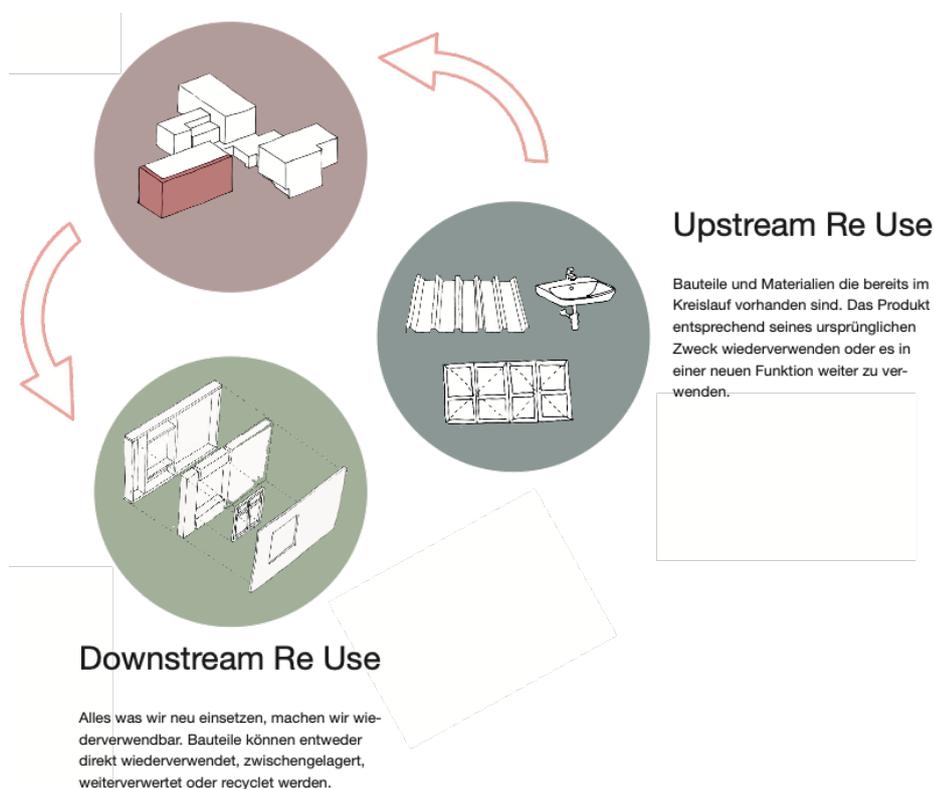


Abbildung 1: Was heisst zirkuläres Bauen – Zirkular GmbH

### 1.4. Warum Kreislaufwirtschaft?

Das Konzept der ökologische Belastungsgrenzen wurde am **Stockholm Resilience Centre** entwickelt.

Die Überschreitung der Grenzen gefährdet die Stabilität unseres Ökosystems und die Lebensgrundlagen der Menschheit.

Die Kreislaufwirtschaft ist hier eingebettet zu betrachten und soll Teil der Lösungsfindung sein.

Kreislaufwirtschaft hat einen Einfluss auf diverse Bereiche und soll nicht seiner selbst Willen, sondern in dem Zusammenhang betrachtet werden.

**Klima:**

40% CO<sub>2</sub> Ausstoss durch das Bauwesen > hin zu Verwendung von Material, das CO<sub>2</sub> speichert statt emittiert!

**Biodiversität:**

Landnutzungsfragen bei Deponie und Ressourcengewinnung (z.B. Kiesabbau).  
Und Biodiversitäts-Fussabdruck des CH-Bauwesens im Ausland (siehe Studie BAFU).

## Ökologische Belastungsgrenzen

nach Will Steffen et al. 2015

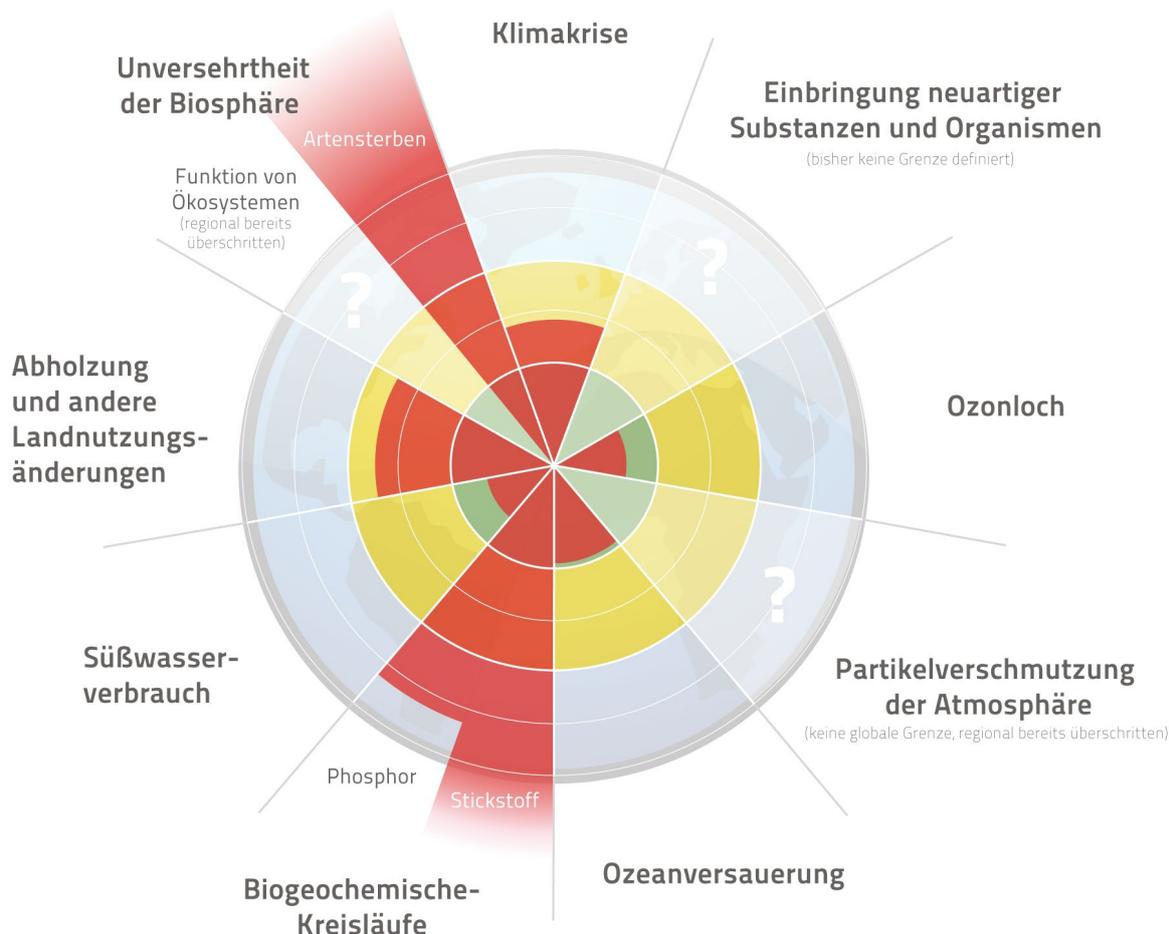


Abbildung 2: Ökologische Belastungsgrenzen – Felix Jörg Müller – Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=83268977>

### 1.5. CO<sub>2</sub> balancing of reuse

In Deutschland und der Schweiz sind wir Recycling-Weltmeister. Dadurch werden zwar Ressourcen geschont, aber kaum Energie gespart und dementsprechend auch kaum CO<sub>2</sub> vermieden.

Das Erhalten und Weiternutzen von Gebäuden verursacht am wenigsten Abfall und CO<sub>2</sub>, braucht am wenigsten Energie und schont am meisten Ressourcen. Reparaturen und Instandhaltung fallen dabei kaum ins Gewicht.

### 1.6. Abhängigkeiten

Seit Corona und aktuell mit dem Ukraine-Krieg wissen wir, wie abhängig wir von der Weltwirtschaft sind und wie schnell diese aus den Fugen gerät.

20/21 sind die Holzpreise in Europa dramatisch gestiegen (über 400%).

Grund dafür: Waldbrände, Käferbefall in den kanadischen Wäldern und Corona-Einschränkungen. Kanada ist wichtigster Holzlieferant der USA.

USA und der asiatische Markt haben kurzerhand auf den europäischen Markt zugegriffen, was zu Knappheit und drastischen Preiserhöhung geführt hat.

Die aktuelle Situation mit dem Ukraine-Krieg zeigt nicht nur, dass wir uns mit der Politik der letzten Jahre in grössere, fossile Abhängigkeit begeben haben, sondern damit auch den Ausbau regenerativer Energieerzeugung fahrlässig vernachlässigt haben und Aufgrund von Lieferengpässen das so schnell garnichtaufholen und verbessern können. Der Kampf um die Energie ist längst im Gang!

### 1.7. Wieviel ist 1 Tonne CO<sub>2</sub>?

Für viele ist es immer noch sehr abstrakt, wenn man von Tonnen CO<sub>2</sub> spricht.

Was ist viel? Was ist wenig?

- 1 Tonne CO<sub>2</sub> entspricht einem 8m x 8m x 8m-Volumen gefüllt mit reinem CO<sub>2</sub>!
- Eine Buche muss 80 Jahre wachsen um 1 Tonne CO<sub>2</sub> aufzunehmen;
- Ein Mittelklassewagen stößt auf 4'900km 1 Tonne CO<sub>2</sub>;
- Ein Flug von Frankfurt nach Lissabon verursacht 1 Tonne CO<sub>2</sub> – pro Person!
- Aber: Man kann mit einer 1t CO<sub>2</sub> 80'000 km mit dem Zug fahren!

In Deutschland wurden 2016 pro Kopf und Jahr 8,9 t CO<sub>2</sub> verursacht. In der Schweiz sind es sogar 11 t!

Um nur das +2C-Klimaziel zu erreichen sollte der Pro-Kopf-Jahresverbrauch zukünftig nicht mehr als 2,3 t CO<sub>2</sub> betragen.

## 2. 3 Projekt mit ReUse und Holzbau

### Re-Use Fassade ELYS

PROJEKT  
Umbau

ORT  
Lysbüchel Basel

BAUHERRSCHAFT  
Immobilien Basel-Stadt



### Aufstockung K118

PROJEKT  
Umbau / Aufstockung

ORT  
Lagerplatz Winterthur

BAUHERRSCHAFT  
Stiftung Abendrot



### Büroebau UNIT SPRINT

PROJEKT  
Neubau Büroeinheiten

ORT  
NEST Dübendorf

BAUHERRSCHAFT  
Forschungsinstitut EMPA



baubüro in situ | ZIRKULAR

Abbildung 3: 3 ReUse-Projekt – baubüro in situ ag Zirkular GmbH

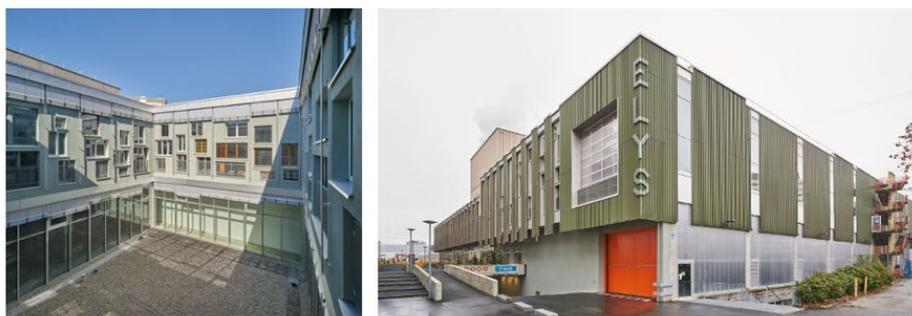
## 2.1. Re-Use Fassade ELYS, Basel

### Re-Use Fassade ELYS

PROJEKT  
Umbau

ORT  
Lysbüchel Basel

BAUHERRSCHAFT  
Immobilien Basel-Stadt



baubüro in situ | ZIRKULAR

Abbildung 4: ReUse-Projekt ELYS, Basel – baubüro in situ ag

Das Projekt «ELYS» liegt nördlich in Basel, im Lysbüchelareal an der Elsässerstrasse zur Grenze nach Frankreich, Das Lysbüchel ist eines der großen Transformationsareale im Stadtkanton Basel-Stadt.

Bis Mitte 2016 hatte hier noch die Supermarktkette COOP ihr Verteilzentrum mit Grossbäckerei für die gesamte Nordwestschweiz.

Neu teilen sich 3 Eigentümer das Areal:

#### **Immobilien Basel-Stadt (IBS)**

Die IBS lässt mit unserem Projekt ca. die Hälfte des Gebäudebestand bestehen. Die anderen Gebäude werden aufgrund schlechter Umnutzbarkeit abgerissen und machen Platz für neue Wohnüberbauungen.

#### **Stiftung Habitat**

Auf dem Teil der Basler Stiftung Habitat wird in erster Linie gemeinnütziges Wohnen (Genossenschaften) unterstützt. Hier wird auch das ehem. COOP-Getränkelerager für Wohnzwecke umgebaut.

#### **SBB**

Auf der Parzelle der Schweizer Bundes Bahn (SBB) sollen Wohn- und Gewerbeflächen entstehen, stadtauswärts Richtung Industriezone mit steigendem Gewerbeanteil.

Bei diesem Projekt haben wir erstmals versucht das bestehende Gebäude max. mit gebrauchten Bauteilen und Materialien wieder zu ergänzen: Rd. 1'200m<sup>2</sup> Fassade komplett aus gebrauchtem Material zu bauen.



Abbildung 5: «Urbane Mine Lysbüchel» Unmengen an KS-Steinen

Das Gesamtprojekt begann erstmal mit umfangreichen Abbruchmassnahmen. Aufgrund der Massen an Bauteilen und Material, die auf dem gesamten Areal abgebrochen wurden, war für uns klar, dass wir unser Projekt mit gebrauchtem Material ergänzen wollen, welches wir direkt aus der Urban Mine vor Ort gewinnen.

Beim Rückbau des jüngsten Gebäudes (2003) konnten wir, für unser ReUse-Projekt H118 in Winterthur, einen grossen Teil der Stahlkonstruktion für die Gebäudeaufstockung gewinnen.

Am Beispiel eines einzelnen Bauteils, sieht man bereits, wieviel CO<sub>2</sub> durch einen neuen Stahlträger freigesetzt wird und wieviel sich durch die Wiederverwendung einsparen lassen. Dabei fällt z.B. der Transport nur minimal ins Gewicht. Und auch das sanieren bzw. auffrischen eines Stahlprofils liegt im Vergleich zu neu unter 30%.

**How to save emissions with reuse?**

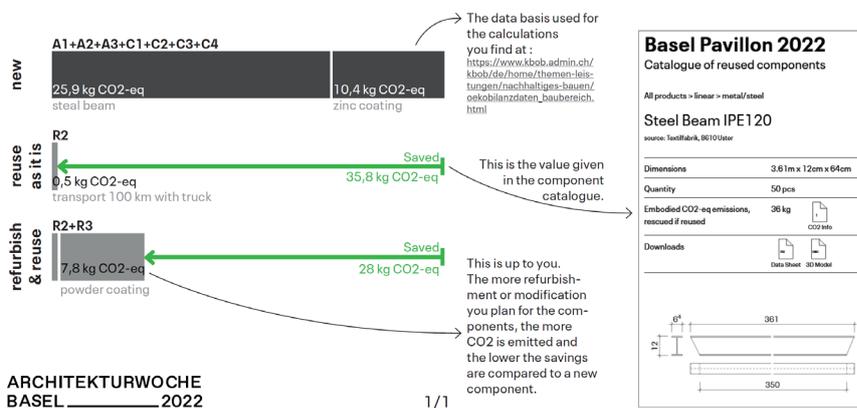


Abbildung 6: CO<sub>2</sub>-Einsparung durch Wiederverwendung am Beispiel Stahlträger – «Neu vs. ReUse»



Abbildung 7: ELYS Teiltrückbau des Gebäudes 215b zur Freilegung der gegenüberliegenden Fassade > neue Primarschule

Um die Fassade der neue Primarschule freizulegen, war zuerst ein Teiltrückbau unseres Gebäudes 215b über 2 Stützenfelder notwendig. Ursprünglich war hier eine Zufahrtsstrasse geplant. Um einerseits einen verkehrsfreien Bereich zwischen den Gebäuden zu schaffen und gleichzeitig Abbruch zu vermeiden wurde die Decke über dem 1.UG in diesem Zwischenbereich belassen.

Auf unserer Seite (rechts) entstand ein offenes Gebäude!

Die Bauherrschaft erhoffte sich durch die Verwendung gebrauchten Materials Kosteneinsparungen, was wir nicht bestätigen konnten. Mit der Aussage, dass die Kosten gleich wie bei einem Neubau liegen werden, wurden wir zuerst mit einem «MockUp» beauftragt, um die Machbarkeit abzuklären.

An diesem 1:1-Modell konnten wir nicht nur die Einhaltung aller Vorschrift und Gesetze klären, sondern auch gleich die Verfügbarkeit benötigter Materialien und Bauteile prüfen.

Die erfolgreiche Präsentation des fertigen MockUps war dann der Startschuss dieses ReUse-Projekts und gleichzeitig der Beginn der Bauteilsuche unter Termindruck für 1200m<sup>2</sup> Fassade.

Ein Holzrahmenbauweise aus ReUse entpuppte sich als geeignetste Lösung. Holz war in Form von Pfetten, Sparren und Leimbändern um Basel herum aus verschiedensten Aufstockungen und Sanierungsprojekten verfügbar.

Der Bedarf an rd. 200 Fenster konnte von 10 verschiedenen Fensterbauern gedeckt werden. Neuwertige Fenster mit aktuellen U-Werten, die aus unterschiedlichsten Gründen im Lager geblieben waren und nach einer gewissen Zeit entsorgt worden wären.

Für den Wärmeschutz wollten wir gebrauchte Dämmung direkt vom eigenen Areal einsetzen, um Transport und das recyceln zu sparen. Die Gebäude der 60er und 70er Jahren waren jedoch kaum gedämmt.

Schlussendlich wurden 150m<sup>3</sup> Steinwoll-Dämmreste verbaut, die bei den Baustoffhändlern gesammelt werden und zum recyceln zum Hersteller gehen. Dort wurde in 2 Wochen 4 Containern gefüllt. Wir konnten zwar nicht den Transport, aber so das energieaufwendige recyceln sparen.

Die neue Fassade sollte sich lt. Stadtbildkommission den Bestehenden angleichen. Wir hatten Trapezbleche in allen Farben zur Verfügung, nur nicht in grün!

Durch die Dachsanierung mussten aber die grüne Trapezbleche der Dachaufbauten demontiert werden. Diese wurden dann durch beige Bleche eines Rückbaus ersetzt, so dass die grünen für unsere Aussenfassade zur Verfügung standen.

Nicht zuletzt konnten wir die unterschiedlich grossen Bodengitterroste der Backstrassenheizung für unsere verschiedenen Fenster verwenden.

## 2.2. Aufstockung K118, Winterthur

### Aufstockung K118

PROJEKT  
Umbau / Aufstockung

ORT  
Lagerplatz Winterthur

BAUHERRSCHAFT  
Stiftung Abendrot

70% Re-Use Anteil.  
Über 50% CO<sub>2</sub>eq  
Ersparnis in der  
Erstellung  
(30% unter Richtwert SIA 2040).

Diese Ersparnis  
entspricht dem Betrieb  
des Gebäudes für sechs  
Jahrzehnte!

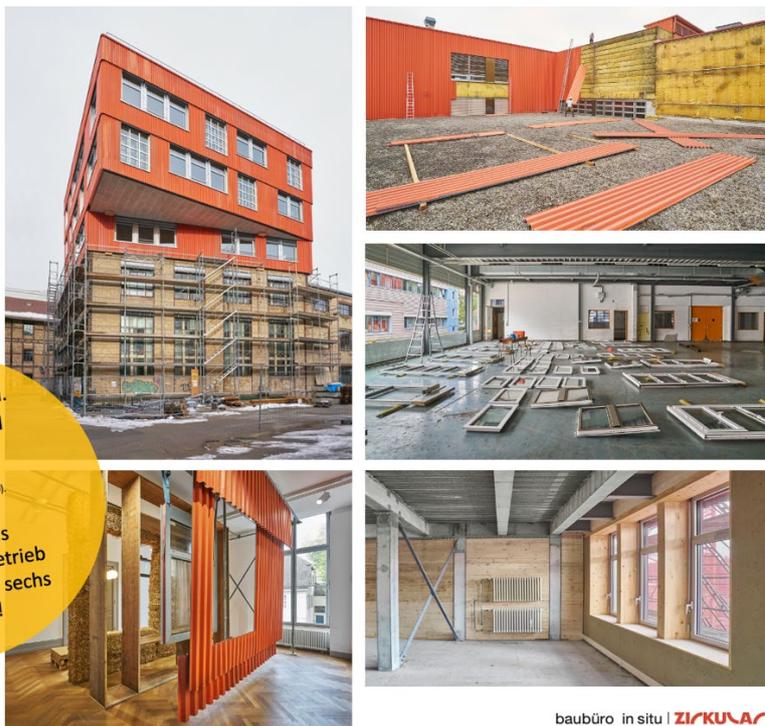


Abbildung 8: ReUse-Projekt K118, Winterthur – baubüro in situ ag

Auch dem «Lagerplatz» in Winterthur, der Stiftung Abendrot (Pensionskasse) und Teilgrundstück des ehem. Burckhardt+Sulzer-Areals, sollte das Gebäude K118 aufgestockt werden. Während auf dem benachbarten Teilgrundstück grösstenteils abgerissen wurde und Ersatzneubauten entstanden, wurde hier mit ETH und ZHAW ein Projekt geplant, mit dem Ziel diese Aufstockung mit einem Maximum an gebrauchten Bauteilen, Materialien und möglichst ökologischen, neuen Materialien umzusetzen.

Wie erwähnt, konnte für die Aufstockung die Stahlkonstruktion des rückgebauten Gebäudes 207 vom Lysbüchel Basel verwendet werden. Der Statiker hatte für die gebrauchte Konstruktion mehr Reserve eingerechnet, um auf der sicheren Seite zu sein.

Um später die Stahlprofile besser einer Wiederverwendung zuführen zu können, wurden diese nicht gekürzt. Daraus resultierend entstand auf der Ostseite eine Überstand, woraus nicht zuletzt der unverwechselbare Charme des Gebäudes entstand. Ein gutes Beispiel, wie ReUse den Gestaltungsprozess beeinflusst.

Die Decken wurden mit gebrauchten Stahl-Trapezblechen hergestellt.

Die Aussenstahlterasse wurde vom Rückbau des Orionhochhauses in Zürich gewonnen. Diese hat die Geschosshöhen der Aufstockung bestimmt. Über einen massiven Treppensockel erfolgt die Anpassung an das Terrain

Die Fenster wurden sowohl vom Oriongebäude als auch von den Rückbauten des Nachbargrundstücks gewonnen werden.

Die Fenster mit den nicht mehr zeitgemässen U-Werten konnten zum Teil im Systemnachweis kompensiert werden. Die gebrauchten Industriefenster waren allerdings energetisch zu schlecht und wurden darum doppelt, als Kastenfenster eingebaut.

Auch der Rückbau der Ziegler-Druckerei in Winterthur stellte sich als dankbare «Urbane Mine» dar. Hier konnten in der Nähe zusätzliche Fenster, die orange Fassadenverkleidung der Aufstockung und der gesamte Dachaufbau gewonnen werden.

Auch hier wurden für die Aussenhülle Holzrahmenelemente aus gebrauchtem Holz vorgefertigt, die mit Stroh gedämmt und innenseitig nur noch mit Lehm verputzt werden mussten.

Auch für Innenwände, Türen, Böden teilweise Haustechnik inkl. Sanitärkeramik etc. wurde weitestgehend auch gebrauchte Bauteile und Material verwendet, wodurch ein ReUse-Anteil von 70% erreicht, 50% CO<sub>2</sub>eq im Vergleich zu Neubau eingespart und schlussendlich die Richtwerte der SIA 2040 um 30% unterschritten wurden.

Aus diesem Projekt resultieren, neben dem ELYS, viele Erfahrungen und Berechnungen u.a. aus der Zusammenarbeit mit der ETH, die als Grundlage für unsere weiteren Projekte dienen und sich nach und nach entwickeln.

### 2.3. Büroeinbau Unit Sprint im NEST, Empa, Dübendorf

#### Büroeinbau UNIT SPRINT

PROJEKT  
Neubau Büroeinheiten

ORT  
NEST, Dübendorf

BAUHERRSCHAFT  
Forschungsinstitut EMPA



Der Fokus liegt in der  
Maximierung von **ReUse**  
Elementen und  
Sekundärmaterial.

Konsequent  
angewandtes  
**Design for Disassembly**  
stellt die Rückbaubarkeit  
sicher.

baubüro in situ | ZIRKULAR

Abbildung 9: Unit Sprint ReUse & Design for disassembly, NEST Empa, Dübendorf  
Zirkular GmbH\_baubüro in situ ag

Bei der EMPA gab es in der Corona Zeit dringenden Bedarf an zusätzlichen Einzelarbeitsplätzen, die schnellstmöglich erstellt werden mussten.

Diese Aufgabenstellung wurde noch mit dem Maximieren von ReUse und Design for Disassembly ergänzt.

Die Herausforderung bestand nun darin, 200m<sup>2</sup> Bürofläche in extrem kurzer Bauzeit zu erstellen, dazu schnellstmöglich gebrauchte Materialien und Bauteile zu finden und so zu fügen, dass diese am Ende der Nutzungsdauer wieder demontier- und wiederverwendbar sind.

Unser Vorteil war, dass wir in unseren bisherigen Projekten nicht nur einige Erfahrungen gesammelt hatten, sondern auch noch passende Bauteile zur Verfügung stand.

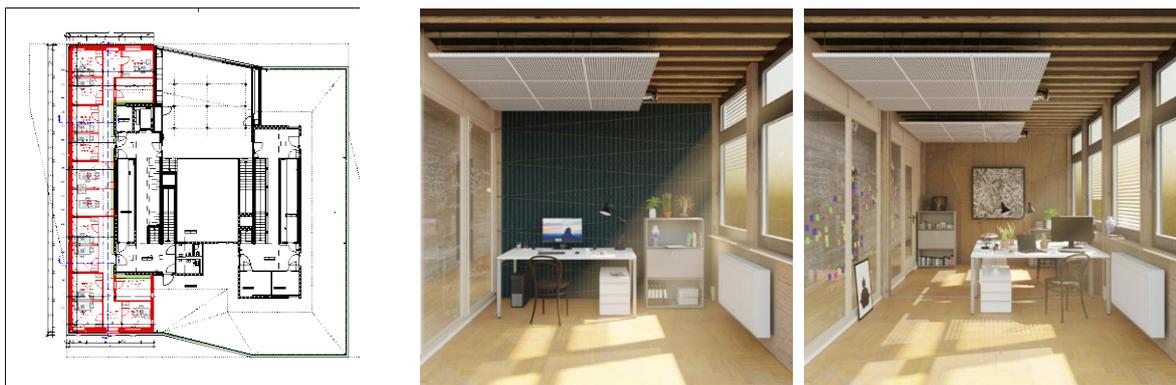


Abbildung 10: Grundriss Unit Sprint (links), Visualisierungen Einzelbüro «Covid» (mitte)+ Doppelbüro «Post-Covid» (rechts)

### Fenster

Vom Projekt K118 waren noch 23 Stück 3-fach verglaste Aluminiumfenster mit thermisch getrennt Rahmen vorhanden, die sich für die Bürostruktur bestens eigneten. Diese waren auch vorher in einem Bürogebäude verbaut, welches abgerissen wurde.

Zusätzlich wurde wieder 2 Lagerfenster von einem Fensterbauer eingebaut. Diese wurden lediglich mit einer kleinen Rahmenverbreiterung an die bestehenden Fensteröffnungen angepasst. Hiermit sollte versucht werden mit wiederverwendeten Fenstern oder bestehenden Lagerfenstern auf bestehende Öffnungen oder durch ein Gestaltungskonzept gleiche Öffnungen einer Lochfassade eingehen zu können.

Drei Werkfenster mit schlechtem U-Wert wurden auf zwei unterschiedliche Weisen verbaut: Zum einen 2 Fenster hintereinander nach Vorbild des Kastenfensters. Hier war Tauwasserausfall im Zwischenbereich ein Thema und wurde schlussendlich durch unterschiedliche Dichtigkeit der 2 Elemente gelöst.

Bei einem weiteren Fenster wurden mit dem Glashersteller GlasSolutions aus Kreuzlingen, Partner beim NEST, unterschiedlich Verglasungsaufbauten ausprobiert, die im Betrieb gemessen werden. Hierbei war es wichtig, dass die bestehenden Gläser der 2-fach Verglasung mit Blick auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz weiterverwendet wurden.

### Holz

Auch ein Lagergebäude wurde zeitlich passend rückgebaut. Die Holzkonstruktion des Daches aus Leimbindern war nicht nur bestens für unser Projekt geeignet, sondern konnte auch den gesamten Holzbedarf decken. Dank der Großen Dimensionierung der Leimbinder konnten diese längs aufgesägt werden, so dass daraus je 4 neue, für uns passende Holzprofile für eine Modulbauweise entstand.

Aufgrund der Modulbauweise konnte das Projekt größtenteils in der Halle des Holzbauers vorgefertigt werden und vor Ort einfach mit einem Gabelstapler zwischen die bestehenden decken eingeschoben werden.

### Dämmung

Gebrauchte Dämmung hatten wir selbst noch vorrätig und auch bei der EMPA waren große Menge verschiedener Dämmmaterialien von Versuchen vorhanden.

Es wurden 3 verschiedene Wandaufbauten mit Stroh-, Steinwoll- und Aerogel-Dämmung erstellt. Stroh als ökologisches, kompostierbares Material, Steinwolle als wiederverwendbares und recycelbares Material. Aerogel ebenfalls wiederverwendet und mit einer fast 4x besseren Dämmleistung als mineralische Dämmung. Entsprechend konnte hier eine Aussenwand mit nur 10cm Dämmstärke gebaut werden.

### Fassade

Die Fassade hätte mit den Granitplatten eines ehem. Bankgebäudes in Dübendorf verkleidet werden sollen. Und auch die Haustechnik hätte vollumfänglich dort gewonnen werden können.

Leider wurde hier nach einiger Zeit klar, dass der Rückbau der Bank mit unserem engen Terminplan nicht übereinstimmte und wir uns von diesem Idealrückbauprojekt verabschieden mussten.

Die Fassadenlösung wurde schlussendlich aber einfacher und besser:

Die Holzverschalung, die bisher den Kern des Gebäudes verkleidet hatte, musste im 1.OG für unseren Einbau demontiert werden. Dadurch wurde diese frei und deckt unseren m<sup>2</sup>-Bedarf genau ab. Es war statisch die bessere Lösung und gestalterisch bereits Teil des Gebäudes.

### **Innenwände**

Aus einem ehem. Pharmagebäude in Basel konnten wir Glastrennwände mit Türen ebenfalls sehr gut zurückbauen, da die Elemente sorgfältig miteinander verschraubt waren. Die Anzahl der Elemente passte exakt auf die Unit Sprint. Diese Elemente dienen als Wand zwischen den Büros und den Gängen.

Nicht zuletzt eine Wand aus Ausschuss-Dachziegeln direkt vom Hersteller, mit Lehm gemauert und somit wieder rückbaubar, wirkt schalldämmend und teilt die Unit Sprint in 2 Hälften.

### **Böden**

Nachdem für den Bodenaufbau auch Fassadengranitplatten bzw. auch ein Lehm Boden geplant war, kam man nicht zuletzt aufgrund der Holzbauweise auch hier auf Parkettboden. Bei einem weiteren Rückbauprojekt in Dübendorf konnte direkt eine große Menge Parkett gewonnen werden. Es stellt sich heraus, dass es miteinander verleimte Fertigparkettbretter waren, die nicht einzeln zu entnehmen waren. Ca. 3 Bretter bleiben immer zusammen. Diese wurden dann auch so ausgebaut und dann in 3 verschiedenen Varianten in der Unit Sprint eingesetzt:

Im Gangbereich wurde das Parkett unverändert wieder eingebaut – als einfachste und günstigste Variante. Bei der zweiten Variante wurden die drei miteinander verleimten Parkettbretter in die gleiche Breite zu Kassettenparkett geschnitten, seitlich genutet, geschliffen und geölt und abwechselnd quer und längs verlegt.

Und als dritte Variante die Bretter mit 45° gekürzt und als «französisches Fischgratparkett» verlegt.

### **Temporäre Bürotrennwände**

Die Module wurden als Doppelbüros gebaut, was sie auch langfristig sein sollen. Für die Corona Zeit müssen diese jedoch zu Einzelbüros temporär getrennt werden.

Diese temporären Trennwände wurde aus den klassischen 50x50cm Teppichfliesen erstellt, die unzähligen Mengen in Großraumbüros eingesetzt werden. Die Fliesen haften nur auf dem Untergrund und sind so extrem leicht rückbaubar.

Gebogen, senkrecht aneinandergereiht und zwischen 2 Wänden eingespannt, dazwischen zur Stabilisierung mit liegenden Schichten, ergibt dass nicht nur eine erstaunlich stabile und gleichzeitig leichte Wandkonstruktion. In Kombination mit einer aufgerollten Teppichfliese, in die gebogene eingesteckt, erreicht man einen erstaunlich guten db-Wert, der sich für temporäre Bürotrennwände eignet.

Zusätzlich haben wir Wände aus Büchern erstellt, die ursprünglich mit großen Mengen gleichformatiger Fehldruck-Bücher ausgeführt werden sollten. Es stellt sich raus, dass die EMPA-Bibliothek aufgeräumt und massenhaft alte Bücher und Zeitschrift aussortiert hatte. So wurden natürlich die Wände mit den eigenenen Büchern gebaut, was aufgrund der unterschiedlichen Formate eine Herausforderung war.

Bei der einen Variante greifen die Buchdeckel abwechselnd von vorn und hinten, horizontal versetzt, wie bei einem «wildem Verband» ineinander. Dadurch entsteht eine in sich sehr stabile Wand. Allerdings ist eine Luftdurchlässigkeit, und damit auch die Schalldurchlässigkeit nicht zu vermeiden.

Mit einer ordentlichen Reihung von gleichhohen Büchern, die ebenfalls ineinandergreifen und horizontal mit Teppichfliesen «abgedichtet» sind, sieht es dagegen deutlich besser aus. Durch die unterschiedlichen dicken der Bücher lassen sich die definierten Rahmen sogar exakt und dicht ausfüllen.

## Haustechnik

Bei der Haustechnik mussten wir einen Rückschlag hinnehmen. Nachdem es kurzzeitig so aussah, dass wir die Haustechnik komplett mit rückgebauten Elementen abdecken können, hat sich das dann leider doch zerschlagen.

Glücklicherweise befand sich dann aber doch noch ein Monoblock in unserem Lagerbestand gebrauchter Bauteile. Und zusätzlich konnten dann auch noch Akustikdeckenelemente gebraucht bezogen und mit Heiz-/Kühlelementen aufgewertet werden.

Zum Schluss darf ich zum Themas Wiederverwendung noch auf das folgende neue Buch hinweisen:

Hier sind die Erkenntnisse und Erfahrungen zum Thema Wiederverwendung, mit Beispielen und Beiträgen von baubüro in situ und Zirkular, für Interessierte und Nachahmer festgehalten.



### BAUTEILE WIEDERVERWENDEN

Ein Kompendium zum zirkulären Bauen

–  
Vom konkreten Fallbeispiel zur Standortbestimmung: das umfassende Handbuch zum Thema Wiederverwendung von ganzen Bauteilen

AUGUST 2021 CA. CHF 65.00 | EUR 58.00

BUCH WEITEREMPFEHLEN →

#### TITELINFORMATION ↓

Herausgegeben vom Institut Konstruktives Entwerfen; ZHAW Departement Architektur, Gestaltung und Bauingenieurwesen; Eva Stricker, Guido Brandi, Andreas Sonderegger; Baubüro in situ AG; Zirkular GmbH; Marc Angst, Barbara Buser, Michel Massmünster

1. Auflage, 2021

Gebunden

ca. 408 Seiten, ca. 350 farbige und sw Abbildungen

21,5 x 28,5 cm

ISBN 978-3-03860-259-0

#### INHALT ↓

AUTOREN & HERAUSGEBER ↓

Abbildung 11: Neues Buch «Bauteile wiederverwenden»

**Block B4**  
**Exzellenzcluster IntCDC Stuttgart**



# **Exzellenzcluster IntCDC – Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Holzbau-Architektur**

Jan Knippers  
Universität Stuttgart  
Stuttgart, Deutschland





# Exzellenzcluster IntCDC – Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Holzbau-Architektur

## 1. Übergeordnete Ziele von IntCDC

Der Exzellenzcluster IntCDC ist ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördertes Projekt der Grundlagenforschung, an dem sich 120 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der Universität Stuttgart und dem Max Planck Institut für Intelligente Systeme in Stuttgart mit den drängendsten Fragen der Zukunft des Bauens beschäftigen.

Die Herausforderung an das Bauen besteht darin, die Bauintensität für eine weiterhin wachsende Weltbevölkerung drastisch zu erhöhen, dabei aber gleichzeitig weniger Schadstoffe zu emittieren, weniger endliche Ressourcen zu verbrauchen und darüber hinaus noch eine qualitätsvolle und lebenswerte gebaute Umwelt zu schaffen. In einem sich wechselseitig beeinflussenden Prozess müssen hierfür sowohl die Produktivität der Bauprozesse als auch die Energie- und Ressourceneffizienz der Bausysteme verbessert werden. Nur mit einer konsequenten Digitalisierung und Integration von Planungsmethoden und Fertigungsprozessen lassen sich diese gegenläufigen Ziele in Einklang miteinander bringen.

Die Wissenschaftler\*innen in IntCDC wollen das volle Potential digitaler Technologien nutzen, um das Planen und Bauen in einem integrativen und interdisziplinären Ansatz neu zu denken und damit die methodischen Grundlagen für eine umfassende Modernisierung des Bauschaffens zu legen. Eine zentrale Zielsetzung ist die Entwicklung einer übergeordneten Methodologie des «Co-Design» von Methoden, Prozessen und Systemen, basierend auf interdisziplinärer Forschung zwischen den Bereichen Architektur, Bauingenieurwesen, Ingenieurgeodäsie, Produktions- und Systemtechnik, Informatik und Robotik sowie Geistes- und Sozialwissenschaften. So sollen Lösungswege für die ökologischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen aufgezeigt und die Voraussetzungen für eine qualitätsvolle, lebenswerte und nachhaltige gebaute Umwelt sowie für eine digitale Baukultur geschaffen werden.

## 2. Die Rolle des Holzbaus auf dem Weg zum Klimaneutralen Bauen

Es wird nicht ein Bausystem geben, das an allen Orten der Welt für alle Herausforderungen an das zukünftige Bauen geeignete Lösungen anbieten kann. Im Gegensatz zu den allermeisten Forschungsinitiativen verfolgt der Exzellenzcluster IntCDC daher ganz bewusst verschiedene Technologiestränge parallel. Zum einen die Entwicklung von CO<sub>2</sub> reduzierten und leichten Betonbauweisen, zum zweiten den Holzbau als Ersatz bei mehrgeschossigen Bauten und schließlich die Faserverbundbauweise für weit spannende Tragwerke und als Beispiel, dass die grundlegende und ergebnisoffene Erkundung der Möglichkeiten der Digitalisierung auch ganz neue und genuin digitale Bauweisen ermöglicht. Mit der systematischen, ganzheitlichen und interdisziplinären Erforschung des integrativen, computerbasierten Planens und Bauens will der Cluster methodische Grundlagen schaffen, die dann unabhängig von dem jeweils betrachteten Technologiestrang für eine grundlegende Modernisierung der Planungs- und Bauprozesse genutzt werden können.

Der Baustoff Holz spielt als Ersatz für den emissionsintensiven Baustoff Beton und als temporärer CO<sub>2</sub> Speicher eine besondere Rolle auf dem Weg zum klimaneutralen Bauen, da der genauere Blick in die Verursacherströme zeigt, dass der größte Anteil an CO<sub>2</sub> Emissionen, die mit dem Bauen verbundenen sind, auf die Herstellung von Zement und anderen mineralischen Bindemitteln zurückzuführen ist [1]. Das Bauen mit Holz wird noch auf lange Zeit den Stahlbeton nicht ersetzen können, da Holz eine beschränkte und nicht überall verfügbare Ressource ist und da der Holzbau für einige Aufgaben wenig geeignet

scheint, z.B. für Infrastrukturbauten. Inzwischen belegen sehr viele Studien die ökologischen Vorteile des Holzbaus bei Geschossbauten, Wohnhäusern und ähnlichem, so dass in diesen Fällen dem Holzbau der Vorzug gegeben werden sollte [2].

Der Holzbau hat in den letzten Jahren durch einige viel publizierte Bauwerke gezeigt, dass es auch für große und hohe Geschossbauten geeignet ist. Gleichzeitig zeigt sich aber auch, dass der Baustoff Holz noch nicht die gleichen konstruktiven Gestaltungsspielräume ermöglicht, wie Stahl oder Beton. Holzbauten sind meist auf regelmäßige Stützenraster, vorwiegend einachsig spannende Deckensysteme und eher mäßige Spannweiten beschränkt [3].

### 3. Die Holzbauforschung in IntCDC



Abbildung 1: BUGA Holzpavillon, Bundesgartenschau Heilbronn, 2019 Quelle: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Grundlegende Vorarbeit für die Holzbauforschung im IntCDC war der BUGA Holzpavillon. Sein Ziel war zu zeigen, wie robotische Fertigungsprozesse der regionalen und nachwachsenden Ressource Holz sowie der mittelständisch geprägten Holzbauindustrie neue Möglichkeiten eröffnen. Lastangepasste und damit materialeffiziente Schalenträgerwerke sind in der heutigen Baupraxis auf Grund des hohen Aufwandes für die Herstellung so gut wie ausgestorben. Für den BUGA Holzpavillon wurde als Alternative zu traditionellen Schalbauweisen ein System entwickelt, bei dem eine doppelt gekrümmte Geometrie aus ebenen Kassetten zusammengesetzt wird [4], [5]. Dies erfordert, dass jede der 376 Kassetten des BUGA Holzpavillons unterschiedliche geometrische Abmessungen hat.

Jede dieser Kassetten besteht aus zwei Platten und sechs Randbalken mit jeweils unterschiedlicher Geometrie, was nur mit einer computergestützten Fertigung sinnvoll herstellbar ist.

Die Bauform des Pavillons ermöglicht es, den geometrischen Gestaltungsspielraum sowie die konstruktive Leistungsfähigkeit einer neuen Bauweise zu erproben und zu demonstrieren, ohne gleich alle funktionalen Anforderungen hinsichtlich Akustik, Brandbeständigkeit, Dauerhaftigkeit etc. erfüllen zu müssen, die üblicherweise mit Gebäuden verbunden sind. Ziel von IntCDC ist aber die Übertragung der für den BUGA Holzpavillon entwickelten Ideen zu Planung und Fertigung auf den allgemeinen Geschossbau.



Abbildung 2: Robotische Fertigung für Kassetten BUGA Holzpavillon. Quelle: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Bei üblichen Baukonstruktionen verursachen die Decken sowohl bei der Herstellung aber auch aus Perspektive des Lebenszyklus den höchsten Anteil an CO<sub>2</sub> Emissionen [6]. Erst mit einem gewissen Abstand folgen Außenwände und Gründung. Daher wird im Exzellenzcluster IntCDC ein Holzdeckensystem entwickelt, das übliche Stahlbetonflachdecken ersetzen kann, in dem es ähnliche konstruktive Möglichkeiten eröffnet, d.h. Auskragungen und unregelmäßige Stützenstellungen bei Spannweiten bis zu 12 m und einer Bauhöhe von etwas mehr als  $d/L$  30, sowie eine flache Deckenuntersicht [7]. Außerdem sollen Stahleinbauteile zur Durchleitung der Stützenlasten vermieden und durch eingeklebte lokale Verstärkungen aus Laubholz ersetzt werden. Auf diese Weise sollen nicht nur Aufwand und Risiken bei Einbindung von Subunternehmern für die Stahlbauteile verringert bzw. die Wertschöpfung im Holzbaubetrieb gehalten werden, sondern auch Verwertungsmöglichkeiten für den steigenden Bestand an Laubholz geschaffen und der ökologische Fußabdruck verbessert werden.

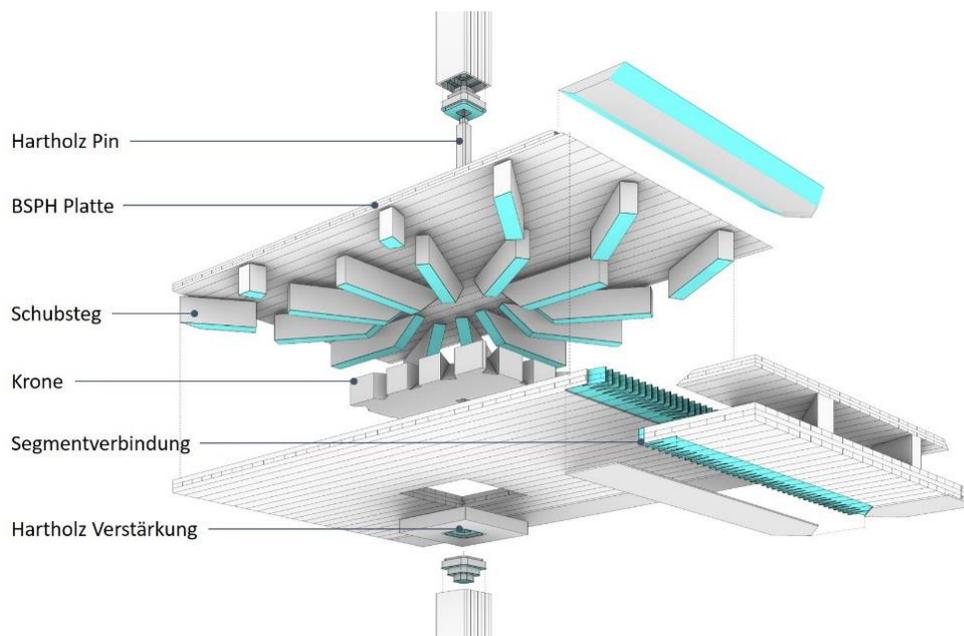


Abbildung 3: Zweilagiges Deckensystem für große Spannweiten und unregelmäßige Stützenstellung  
Quelle: IntCDC Universität Stuttgart

Das Deckensystem übernimmt dabei Ansätze aus dem BUGA Holzpavillon: ähnlich wie die Hohlkassetten des BUGA Holzpavillons ist es zweilagig aufgebaut um den Verbrauch von Holz zu reduzieren. Die beiden Decklagen bestehen in diesem Fall aus Brettsperrholzplatten, die durch 1,2 m lange Stege aus Brettschichtholz schubsteif gekoppelt sind. Die Stege folgen diskontinuierlich den Schubspannungen in der Platte. Die Decke lagert punktförmig auf Stützen aus Brettschichtholz auf. Um den Stützenkopf herum ist der Hohlraum mit einer Verstärkungsplatte ausgefüllt, die als Schubverstärkung das Durchstanzen verhindert, ähnlich wie Dübelleisten bei Stahlbetonflachdecken. Die Durchleitung der Stützenkräfte erfolgt über Einlagen aus Furnierschichtholz aus Baubuche, so dass auf die üblichen Einbauteile aus Stahl verzichtet werden kann. Auch die Fertigung knüpft an Ansätze von dem BUGA Holzpavillon an: zwei korrespondierende Roboter werden auf einer transportablen Containerplattform montiert. Einer platziert die Bauteile, d.h. vor allem die Stege, der zweite bearbeitet sie, d.h. bringt den Leim auf und fräst die Aussparungen. Auf diese Weise werden im Werk Deckenplatten zu transportfähigen Einheiten von etwa 12m x 2,80 m vorgefertigt und dann auf der Baustelle miteinander verleimt. Die Fugen zwischen den Segmenten werden auf der Baustelle verklebt.

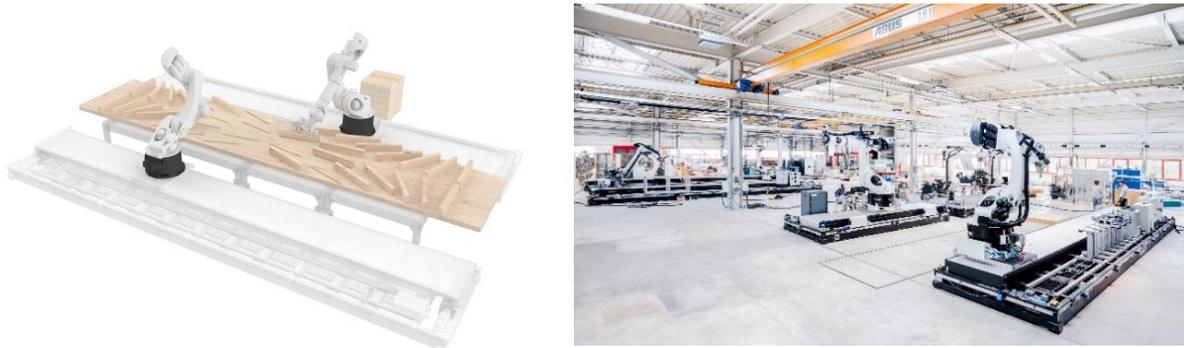


Abbildung 4: Geplante Fertigung der zweilagigen Holzdecken in der Halle des IntCDC, Waiblingen.  
Quelle: IntCDC Universität Stuttgart

Um den Verbrauch an Klebstoff und damit auch die Montagezeiten zu reduzieren ist die Ausbildung der Klebefuge zwischen den vorgefertigten Deckensegmenten unterschiedlich, bzw. an Größe sowie Art der Beanspruchung angepasst, d.h. überwiegend Biegung oder zusätzlich auch große Schubkräfte. Dies erhöht die geometrische Komplexität der Bauweise weiterhin, so dass diese insgesamt nur mit einer konsistenten digitalen Integration von Planung und Fertigung denkbar ist.

Eine besondere Herausforderung für den mehrgeschossigen Holzbau stellen die Anforderungen aus dem Schallschutz und dem sommerlichen Wärmeschutz dar. Gängige Konzepte reagieren hierauf mit Masse, was im Hinblick auf eine ressourceneffiziente Leichtbaukonstruktion kontraproduktiv ist. Während die thermische Speichermasse aus den tragenden Konstruktion in den Ausbau verlegt werden kann, ist für den Schallübertrag die Masse der tragenden Decke maßgebend. Im Rahmen der IntCDC Forschung werden Ansätze untersucht, bei denen die Schubstege wie Federn so ausgelegt sind, dass sie die beiden Deckenlagen zwar statisch verbinden, aber akustisch den Trittschallübertrag dämpfen.

#### 4. Die Holzbaudemonstratoren in IntCDC

Die Forschung im IntCDC unterscheidet sich von vielen anderen Forschungsprojekten auch darin, dass sie in großformatigen Demonstratoren, wie zum Beispiel dem BUGA Holzpavillon, erprobt wird. Viele Fragen stellen sich erst bei der baulichen Umsetzung im Maßstab 1:1, z.B. die Ausführung von Anschluss- und Randdetails oder die Integration und Ausführung von Dicht- und Dämmebenen oder von äußeren Bekleidungen. Ein besonderer Aspekt, der in Forschungsprojekten häufig kaum adressiert wird, ist die Frage der bauaufsichtlichen Genehmigung. Forschung ist nur dann Forschung, wenn sie sich außerhalb des Stands der Technik befindet, bzw. das Ziel hat, diesen zu erweitern. Das bedeutet für den Transfer in die Praxis, dass dieser über Zustimmung im Einzelfall bauaufsichtlich abgedeckt werden muss. Wenn der Aufwand hierfür aber zu groß wird, ist dieser Transfer nicht realistisch. Die Genehmigungsfähigkeit muss also von Beginn an mitgedacht werden, und auch Gutachter und Genehmigungsbehörden entsprechend eingebunden werden.

Zentrales Projekt des Exzellenzclusters ist das Large Scale Construction Laboratory, das LCRL Gebäude, das auf dem Universitätscampus in Vaihingen 2026 mit Außenabmessungen von rund 100m x 30m realisiert werden soll. Es ist gleichzeitig Heimat für die Forschenden des IntCDC aber gleichzeitig auch Demonstrator für die verschiedenen Forschungsthemen. Diese werden in das Gebäude integriert, z.B. der Gradientenbeton für die Bodenplatte und die Untergeschosse, die Holzbaudecken im Bürobereich und ein Faserträger im Dach, sowie Bio Composite als innen liegende Bekleidungen. Dabei sollen nicht nur die Bausysteme sondern auch die Fertigungs- und Montageprozesse erprobt werden. So sollen zum Beispiel die Kassetten für das Dachtragwerk nicht nur robotisch vorgefertigt, sondern in Teilbereichen auch auf der Baustelle robotisch montiert werden.



Bild 5: Large Scale Robotic Construction Laboratory des IntCDC auf dem Campus Vaihingen der Universität Stuttgart, Fertigstellung 2026. Quelle: IntCDC Universität Stuttgart

Bei den Holzdecken sind neben den Aspekten der digitalen Planung und Fertigung vor allem die Klebefugen eine besondere Herausforderung. Hierbei kommen neben den robotischen Verkleben der Stege mit den Platten in der Vorfertigung auch Verklebungen auf der Baustelle zum Verbinden der Deckensegmente zum Einsatz.

## 5. Mitwirkende an der Holzbauforschung

Die hier dargestellten Holzbauforschungen sind nur durch die intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit einer Vielzahl an Mitwirkenden aus unterschiedlichen Disziplinen möglich. Diese kommen aus folgenden Instituten und Einrichtungen der Universität Stuttgart:

ICD – Institut für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung  
 ITKE – Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen  
 MPA – Materialprüfungsanstalt, Abteilung Holzkonstruktionen  
 IABP – Institut für Akustik und Bauphysik  
 ISW – Institut für Steuerungstechnik der Fertigungseinrichtungen  
 VISUS – Visualisierungsinstitut der Universität Stuttgart  
 SOWI – Institut für Sozialwissenschaften

- [1] BBSR online-Publikation Nr 17/2020. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2020
- [2] Umwelt Bundesamt, Texte 192/2020. Potenziale von Bauen mit Holz - Erweiterung der Datengrundlage zur Verfügbarkeit von Holz als Baustoff zum Einsatz im Holzbau sowie vergleichende Ökobilanzierung von Häusern in Massiv und Holzbauweise
- [3] Svatoš-Ražnjević, H., Orozco, L., Menges, A.: 2022, Advanced Timber Construction Industry: A Review of 350 Multi-Storey Timber Projects from 2000–2021. Buildings, vol. 12, no. 4. (DOI: 10.3390/buildings12040404)
- [4] Bechert, S., Sonntag, D., Aldinger, L., Knippers, J.: 2021, Integrative structural design and engineering methods for segmented timber shells - BUGA Wood Pavilion. Structures 34 (2021) 4814–4833
- [5] Wagner, H.J., Alvarez, M., Kyjaneck, O., Bhiri, Z., Buck, M., Menges, A., Flexible and transportable robotic timber construction platform – TIM. Automation in Construction 120 (2020) 103400
- [6] DGNB (Hrsg.), Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion. 2021
- [7] Krtschil, A., Orozco, L., Bechert, S., Wagner, H.J., Amtsberg, F., Chen, T.Y., Shah, A., Menges, A., Knippers, J. Structural development of a novel punctually supported timber building system for multi-storey construction. Journal of Building Engineering 58 (2022) 104972



# Entwurf und Planung des Demonstrationsgebäudes LCRL an der Universität Stuttgart

Sebastian Thomas  
IntCDC Planungs GmbH  
Stuttgart, Deutschland





# Entwurf und Planung des Demonstrationsgebäudes LCRL an der Universität Stuttgart

## 1. Vorhaben

Das Exzellenzcluster «Cluster of Excellence Integrative Computational Design and Construction for Architecture» – IntCDC – der Universität Stuttgart hat zum Ziel, die Möglichkeiten der Digitalisierung für integratives Planen und Bauen systematisch und multidisziplinär zu erforschen.

Ein zentraler Punkt des Forschungsvorhabens ist die Realisierung eines Neubaus für ein Large-Scale Construction Robotics Laboratory – LCRL – mit dem maßgeblich zwei Ziele verfolgt werden:

Erstens dient das Bauvorhaben selbst als zentrales Forschungsprojekt und Demonstrator für die Innovationsstärke des Exzellenzclusters.

Zweitens ist für den Erfolg der Spitzenforschung eine entsprechende räumliche Verortung und Forschungsinfrastruktur des EXC von entscheidender Bedeutung.

So soll ein Ort geschaffen werden, der die interdisziplinären Forscher des Exzellenzclusters, die aus sieben Fakultäten der Universität stammen, räumlich und wissenschaftlich zusammenführt. Ebenso ist der Platz für die räumliche Unterbringung der für die Forschung des Exzellenzcluster erforderliche Infrastruktur.

Um die wissenschaftlichen und strukturellen Ziele des Clusters zu erreichen, hat sich die Universität Stuttgart zur Errichtung eines neuen LCRL-Labors bekannt. Das Gebäude soll zugleich Forschungsprojekt sein und eine zentrale Forschungsplattform bieten, die die drei Schwerpunkte des Clusters aufgreift: Die Erforschung integrativer Planungs- und Ingenieursmethoden, die Entwicklung neuartiger Prozesse der Vorfertigung und des Bauens vor Ort, und die damit einhergehende Entwicklung intelligenter und nachhaltiger Bausysteme.

## 2. Planungsaufgabe

Die Aufgabe der Universität Stuttgart an die Planungsgesellschaft bestand und besteht weiter darin, ein Gebäude zu entwickeln, das die Anforderungen des Exzellenzcluster IntCDC funktional, gestalterisch und organisatorisch umsetzt und dabei die Aspekte der Forschung konstruktiv in den Entwurfs- und Planungsprozess integriert.

Hierbei werden die Anforderungen der Forschung und die Aspekte des Co-Designs des Exzellenzcluster in den Entwurf des Gebäudes übersetzt. Die Nutzeranforderungen, die im Vorfeld zum eigentlichen Planungsprozess durch das Exzellenzcluster ermittelt wurden, werden im Zuge des Entwurfsprozesses kontinuierlich mit dem Nutzer weiter abgestimmt und mit der Planung rückgekoppelt.

Eine besondere Aufgabe stellte im Entwurfsprozess die Tatsache da, dass die Funktion des Gebäudes mit der Anforderung der Vernetzung der unterschiedlichen Forschungs- und Arbeitsbereiche des Clusters mit den Eigenschaften der Baukonstruktionen und den Anforderungen der Forschungsprojekte gemeinsam entwickelt werden musste.

### 3. Forschungsintegration

In das Gebäude werden mehrere Forschungsprojekte integriert. So werden folgende Forschungsbauteile in der Konstruktion und im Ausbau des Gebäudes umgesetzt:

- Gradientenbeton
- Mehrgeschossiger Holzbau
- Holzschalendach
- Faserverbundelement
- Biokomposit

### 4. Entwurf

Der integrale Entwurfsansatz versucht für die strukturelle Forderung des Clusters, an eine vielschichtige Verbindung zwischen den unterschiedlichen Arbeitsbereichen der Forscher und der Werkstattmitarbeiter, eine räumliche Entsprechung zu finden.

Das Gebäude ist eingebettet in den Camus Vaihingen und bildet dort den nördlichen Abschluss des Forschungsstandorts der Universität Stuttgart

Grundsätzlich lässt sich das Gebäude und sein Umfeld in mehrere Bereiche unterteilen: Das Hauptgebäude, bestehend aus einer großen Laborhalle für die Versuchsaufbauten. Den dienenden Werkstätten der jeweiligen Forschungsbereiche für Holz-, Metall- Faserbearbeitung, sowie einer Elektrowerkstatt. Ergänzt wird dieser Bereich der praktischen Forschung und Fertigung um den, im direkten Austausch mit diesen Flächen stehenden Bürobereich. Die gemeinschaftlichen Büroflächen des Clusters verteilen sich über drei Obergeschosse. Auf diesen Geschossplatten wird eine Bürolandschaft organisiert, die eine freie flexible Nutzung ermöglichen soll. Diese unterschiedlichen Räume werden durch das, das gesamte Hauptgebäude überspannenden Dach zu einem Funktionskörper zusammengeschlossen. An das Hauptgebäude gliedert sich das Außenlabor mit Versuchsflächen im Freien und einem Lagergebäude an.

Ziel ist es ein räumliches Umfeld zu schaffen, dass die unterschiedlichen Funktionen und hierarchischen Bereiche des Clusters in einem Gebäude möglichst gleichberechtigt zusammenführt. Aus diesem Grund ist eine direkte, die Funktionen verwebende, Anbindung der unterschiedlichen Bereiche elementarer Bestandteil der Gebäudekonzeption.

### 5. Projektstand

Aktuell befindet sich das Projekt mitten in der Leistungsphase 5 nach HOAI, wobei jedoch, aufgrund der speziellen Vorgaben des Forschungsgebäudes, die regulären Prozesse und Leistungsbilder einer konventionellen Planung kontinuierlich erweitert und an die spezifischen Bedürfnisse des Projekts und der Planungsbeteiligten angepasst werden mussten.

# Robotics and haptic intelligence – the potential for timber construction

Katherine J. Kuchenbecker  
Max Planck Institute for Intelligent Systems  
Stuttgart, Deutschland





# Robotics and haptic intelligence – the potential for timber construction

## Abstract

Several aspects of robotics hold great potential for supporting the future of timber construction. My team and our collaborators are exploring one promising theme, haptic intelligence, within the framework of the IntCDC Excellence Cluster in Stuttgart. Machines used on construction sites can already perform most of the motions needed to move pre-fabricated building components into location on site. However, it is presently difficult for a human operator to coordinate the simultaneous movement of such a machine's many degrees of freedom. Thus, we have developed a generalizable software algorithm that constantly calculates the desired pose for a robotic arm based on the current pose of the operator's arm (measured through wearable inertial measurement units). This Optimization-based Customizable Retargeting Algorithm (OCRA) gives the user natural control over all of the robot's joints to facilitate teleoperation, which can be used to perform difficult parts of any task or to record examples as the foundation for automation. The second half of our work on haptic intelligence focuses on allowing a human to feel what the teleoperated machine is feeling in real time. For this, we attach a tiny high-bandwidth three-axis accelerometer near the robot's end-effector and use commercial audio equipment to wirelessly transmit, process, and output the vibrations for the operator and/or observers to feel. Testing during assembly of the *livMatS* Biomimetic Shell @ FIT proved that our AiroTouch system captures rich vibrations, especially during contacts between the end-effector and the structure, and that observers highly appreciated this extra source of information. A controlled experiment on another telerobotic platform also substantiated the value of this naturalistic haptic feedback for use with construction robots. We envision that the same kind of sensor can also be used during future autonomous operation of such machines, so they can quickly react to both intended and unintended contacts.



# Forschungsintegration weitspannender, punktgestützter Geschossdecken im LCRL Gebäude

Lorenz Riedel  
Institut für Tragkonstruktionen  
und konstruktives Entwerfen  
Universität Stuttgart, Deutschland



Simon Tremel  
Institut für Computerbasiertes  
Entwerfen und Baufertigung  
Universität Stuttgart, Deutschland



Cristóbal Tapia  
Materialprüfungsanstalt –  
Abteilung Holzkonstruktionen  
Universität Stuttgart, Deutschland



Hans Jakob Wagner  
Institut für Computerbasiertes  
Entwerfen und Baufertigung  
Universität Stuttgart, Deutschland





# Forschungsintegration weitspannender, punktgestützter Geschossdecken im LCRL Gebäude

## 1. Einführung

Die letztlich vorgelegte Holzbauintiative des Bundesbauministeriums reiht sich in eine Serie an politischen Willensbekundungen ein, welche den Holzbau als nachhaltige, zukunftsweisende Bauart unterstützen möchten. Darin heißt es: «Bei der Suche nach Lösungen, die Klimaschutz und Ressourcenschonung mit dem Bedarf an Gebäuden zum Wohnen, Leben und Arbeiten nachhaltig in Einklang bringen, müssen nachwachsende Rohstoffe stärker als bisher berücksichtigt werden. Von besonderer Relevanz ist dabei der ressourceneffiziente Einsatz von Deutschlands bedeutendstem nachwachsenden Rohstoff Holz.» [1]

Um dieses Ziel zu erreichen, müssen mehrere Herausforderungen adressiert werden:

- (1) Materielle Herausforderung: Holz ist ein nachwachsender Baustoff, allerdings ist er als Baumaterial zeitlich gesehen in seiner Verfügbarkeit beschränkt. Ökologisch ist es besonders sinnvoll mit Holz zu bauen, wenn mit der gleichen Menge Holz möglichst viele Neubauten aus anderen Materialien substituiert werden. Auch ökonomisch gesehen, macht es Sinn mit möglichst wenig Holz möglichst viele Holzgebäude zu errichten. Dies bedeutet in der Praxis, dass Alternativen zum Trendbaustoff Brettsperrholz gefunden werden müssen.
- (2) Personelle Herausforderung: Die Frage wie mit wenig Material viel gebaut werden kann, ist an sich kein neuer Gedanke. Ganz im Gegenteil galt dies für den Großteil der Holzbaugeschichte als Maßstab. Historische Bauweisen wurden allerdings weitestgehend verdrängt, da die für solche Bauweisen notwendige Planungs- und Bearbeitungsintensitäten nicht mehr ökonomisch abbildbar waren. Der größte Erfolgsfaktor von BSP ist nicht zuletzt die einfache Planbarkeit und weitestgehend digitalisierte Bearbeitung. Diese Situation hat sich in den letzten Jahren noch weiter verschärft. Der Sektor steht vor der Herausforderung von fehlenden Fachkräften, Hilfskräften sowie Planungsexperten.
- (3) Konstruktive Herausforderungen: Aktuell werden nur bestimmte Typologien an Gebäuden kostenkompetitiv in Holz realisiert. Zumeist sind dies Gebäude welche bezüglich ihrer Nutzung für serielle Bauweisen eignen. In denen weiters tragende Innenwände und lineare Auflager für einfach spannende Decken eingesetzt werden können. Mit dem Ziel einer Erhöhung des Holzbauanteils und im Sinne einer nachhaltigen Bauwirtschaft und Stadtentwicklung wird es vor allem notwendig sein, innerstädtische Bauplätze und historisch entstandene Baulücken mit unregelmäßigen Maßen und Formen mit Gebäuden zu bebauen die eine hohe Nutzungsflexibilität und durchmischte Funktion aufweisen. Dies ist mit dem Stand der Technik derzeit nur bedingt möglich.

Im Rahmen der Forschung des Exzellenzcluster (EXC) «Integratives Planen und Bauen für die Architektur» an der Universität Stuttgart wird daran gearbeitet diese Herausforderungen zu überkommen. Den Arbeiten liegt dabei die Hypothese zu Grunde, dass sich mit der durchgehenden Digitalisierung von Planungs- und Fertigungsprozessen grundsätzlich neue Ansätze im Holzbau ergeben. Insbesondere untersteht dieser Ansatz der Annahme, dass (1) personelle Engpässe durch digitale Entwurfsmethoden und automatisierte Fertigungsprozesse überwunden werden können; Weiters (2), dass durch die vollständige Digitalisierung der Planung und Fertigung das Dilemma hinsichtlich der materiellen Effizienz aufgelöst werden kann (zusätzliche Komplexität in Planung und Herstellung von effizienten Strukturen in digitalisierten Prozessen erzeugt keinen zusätzlichen Personalaufwand, sondern kann durch skalierbare Technologien abgefangen werden); und schlussendlich (3), dass durch die vollständig digitale Generierung und robotisch Fertigung neuartige Bausysteme entwickelt werden können welche aktuelle konstruktiven Einschränkungen überkommen.

Am EXC wird im Rahmen des Forschungsprojektes 3 und 4 dementsprechend an der Erforschung und Entwicklung von Bausystemen gearbeitet welche vollständig auf computer-basierten Entwurfsmethoden und robotischen Produktionsprozessen basieren. Im Rahmen der Methodik des Co-Designs erfolgen diese Entwicklungen parallel in interdisziplinärer Forschungsarbeit [2]. Gemeinsames Ziel ist dabei die Entwicklung von Punktgestützten Geschossdecken, welche keinem regelmäßigen Raster folgen müssen und - ohne Stahl und Betonbauteile - sortenrein aus Holz hergestellt werden können.

## 2. Übersicht der bisherigen Forschungsergebnisse

Im Rahmen der ersten Forschungsphase des Exzellenzclusters wurden hierzu eine breite Anzahl an Ergebnissen erzielt:

Durch die vertiefte Analyse von 350 der wichtigsten, neu entstandenen, internationalen Geschossbauten aus Holz konnte gezeigt werden, dass tatsächlich mehr als 98% der Holzgebäude an strenge Raster gebunden sind, Deckensysteme einachsig spannen. Weiters, dass weniger als 25% der Holzgeschossbauten tatsächlich sortenrein aus Holz gebaut sind [3]. Daher ergeben sich erhebliche Einbußen in langfristiger Nutzungsflexibilität durch tragende Innenwände, enge Stützenraster.

Weiters konnten ersten Ansätzen für mehrachsig spannende Bausysteme für Punktgestützte Holzdecken entwickelt werden. Einerseits wurde ein exploratives System entwickelt mit dem adaptive Balken-netze mittels einem Montageroboter eingebracht werden können [4]. Vor allem wurde aber ein erstes Hohlkastensystem als Nadel-Laubholz Hybridsystem entwickelt [5] welches die Grundlage für die weiteren Forschungen bildet und auf Basis von verfügbaren Halbzeugen nur die notwendigen Schritte mittels neuartiger, robotischer Prozesse abbildet – während gängige Schritte in üblichen Abbund-Zentren realisiert werden können. Um diese robotischen Prozesse flexibel in unterschiedlichen Fertigungsumgebungen einsetzen zu können wurden transportable, robotische Plattformen entwickelt [6]. Weiters konnte gezeigt werden wie mittels generalisierbaren Handlungsbeschreibungen Fertigungsschritte unabhängig von Ausführendem «Agenten» direkt aus dem digitalen Gebäudemodell beschrieben werden können [7], [8] und mittels AR-Schnittstellen sowohl von Menschlichen als auch robotischen Arbeitern ausgeführt werden können [9], [10].

Für die Detailentwicklung wurden umfassende Untersuchungen für die sortenreine Verbindung von Stütze zu Stütze und Deckenelement zu Deckenelement erarbeitet. Punktförmig gestützte Deckensysteme im mehrgeschossigen Holzbau stellen strukturelle Elemente und Verbindungen vor verschiedene Herausforderungen. Beispielsweise können die Vertikalkräfte der oberen Geschosse aufgrund der begrenzten Festigkeit quer zur Faser von Holz nicht direkt über die Decke (z.B. BSP) zur unteren Stütze übertragen werden. Dieses Problem wird in der Regel durch speziell hergestellte Stahlelemente gelöst, die die Kraft durch eine Öffnung in der Decke übertragen. Am LCRL werden diese Stahlelemente durch den Einsatz von hochfesten Holzelementen wie Buchen-FSH ersetzt. Abbildung 1-a zeigt die Geometrie der entwickelten Verbindung. Das untere pyramidenförmige Element aus Buchen-FSH ermöglicht die Verteilung der Druckspannungen über den gesamten Querschnitt, bevor sie auf das untere BSH übertragen werden. Die Wirksamkeit dieses Konzepts wurde sowohl numerisch als auch experimentell bestätigt [11], [12].

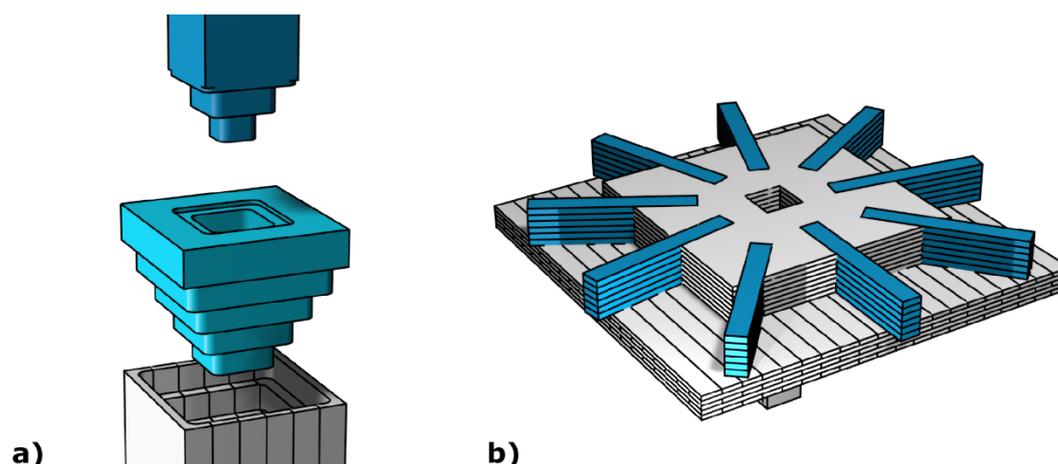


Abbildung 1: (a) Stützen-Stützen Anschluss für die Übertragung von Vertikalkräften;  
(b) Verstärkung im Bereich des Stützenanschlusses mittels FSH und eingebundenen Schubstegen.

Ein weiteres Problem bei punktförmig gestützten Deckensystemen ist die hohe Konzentration von Querkraften im Bereich der Stütze. Dieses Problem ist besonders bedeutend bei einem Hohlkastensystem wie im LCRL vorgesehen, da in der inneren Region der Decke nicht ausreichend Material vorhanden ist, um diese Kräfte aufzunehmen. Um dieses Problem zu lösen, wurde eine spezielle Verstärkung entwickelt, die dem Konzept des Hohlkastensystems entspricht. Es wird ein Kern aus FSH im Innenraum direkt über der Stütze positioniert, sodass die Schubstege mit diesem Kern verbunden werden können [13] (siehe Abbildung 1-b). Die Verbindung erfolgt durch eine Verklebung mit einem zwei-komponenten PUR-Klebstoff, der die seitlichen Flächen verbindet, indem die Fugen ausgefüllt werden.

Um das Ziel einer möglichst großen freien Fläche zu erreichen, ist es wichtig, dass biaxiale Tragverhalten der Decken sicherzustellen. Dafür werden steife Verbindungen zwischen den Platten benötigt. Für das LCRL-Gebäude wurden verschiedene Alternativen solcher Verbindungen entwickelt, die je nach Anforderungsprofil eingesetzt werden können (siehe unten). Ein Hauptmerkmal dieser Anschlüsse ist die Verwendung von Klebstoffen, die eine effiziente Kraftübertragung und hohe Steifigkeit ermöglichen. Ein Beispiel dafür ist die Entwicklung einer großformatigen Keilzinkung, die eine Verbindung sowohl in Längs- als auch in Querrichtung der BSP-Platten ermöglicht (Abbildung 2). Dieses System bildet die Grundlage für verschiedene Verbindungskonzepte, die bereits numerisch und experimentell getestet wurden.

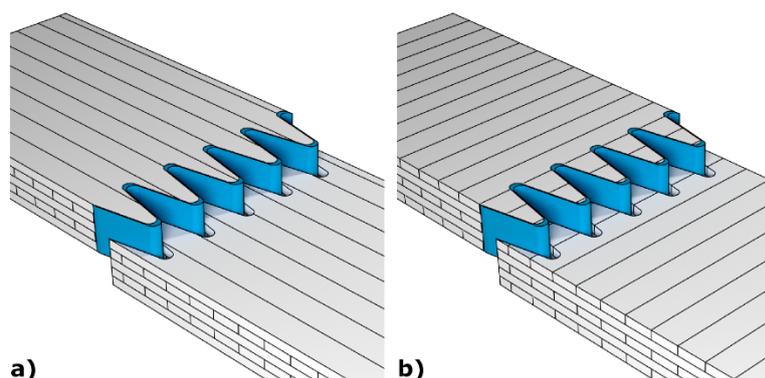


Abbildung 2: Keilzinkungen für den Anschluss von BSP-Platten

Weiters wurden zusammen mit dem Institut für Akustik und Bauphysik integrative Maßnahmen zur Schwingungsreduktion entwickelt [14], [15]. Zu guter Letzt wurden neuartige Methoden zur generativen, computer-basierten Unterteilung von Deckenplatten [16] in transportable, vorgefertigte Bauteile / Deckensegmente erarbeitet und hinsichtlich der Interaktionen von Leistungsfähigkeit und Materialverschnitts verglichen [17].

### 3. Forschungsintegration im LCRL Gebäude

Im Kontext des Exzellenzclusters *Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur* (IntCDC) plant die Universität Stuttgart den Neubau des *Large-Scale-Construction-Robot-Laboratoriums* (LCRL) auf dem Campus Stuttgart-Vaihingen (siehe Abbildung 3). Das LCRL Gebäude soll zukünftig die Forschungsinfrastruktur von IntCDC beheimaten und das interdisziplinäre Team der Forscher\*innen aus sieben Fakultäten räumlich zusammenführen. Als universitäres Pilotprojekt dient das Gebäude als Demonstrator der von IntCDC entwickelten Bausysteme. Erstmals werden diese im Gebäudemaßstab angewendet.



Abbildung 3: Schnitt durch das LCRL Gebäude.

Das von IntCDC entwickelte mehrgeschossige Holzbausystem soll die Geschossdecken des Bürotrakts im LCRL Gebäude bilden (siehe Abbildung 3). Um das volle Potenzial des Systems zu demonstrieren, wird das Deckentragwerk mit einem unregelmäßigen Stützenraster und weitspannenden Deckenfeldern mit bis zu 11,5 m Spannweite versehen. Umlaufende Balkone mit bis zu 3,2 m Auskragungslänge und ein mittig liegendes Atrium erhöhen zusätzlich die konstruktiven und statischen Anforderungen.

Aufgrund der Integration verschiedener Nutzungseinheiten und Tragwerkssysteme im LCRL Gebäude sind diverse Gewerkeschnittstellen in der Detailplanung zu berücksichtigen. Maßgeblich sind hierbei Anschlüsse an Betonkerne, tragende Innenwände und Fassadenstützen zu nennen. In Hinblick auf die vorgesehene Anwendbarkeit in sowohl Neu- als auch Bestandsbauten demonstriert dies die Flexibilität in der Nutzung des Deckensystems. Neben den konstruktiven Herausforderungen sind hierbei die bauablaufstechnischen Prozesse zu betrachten.

Die Decke ist als Hohlkastendecke mit einer Gesamthöhe von 42 cm und Beplankungsdicken von 10 – 12 cm geplant. Durch den Einsatz von Fichten-Brettspertholz als Beplankungstafeln wird ein zweiachsiger Lastabtrag ermöglicht. Im Deckenhohlraum befinden sich Verstärkungsrippen deren Orientierungen am Vektorfeld der Schubspannungen orientiert sind (siehe Abbildung 5). In den hochbelasteten Bereichen um die Stützenköpfe sind weiterhin massive Holzelemente im Deckenhohlraum sowie Details aus Buchenholz angeordnet.

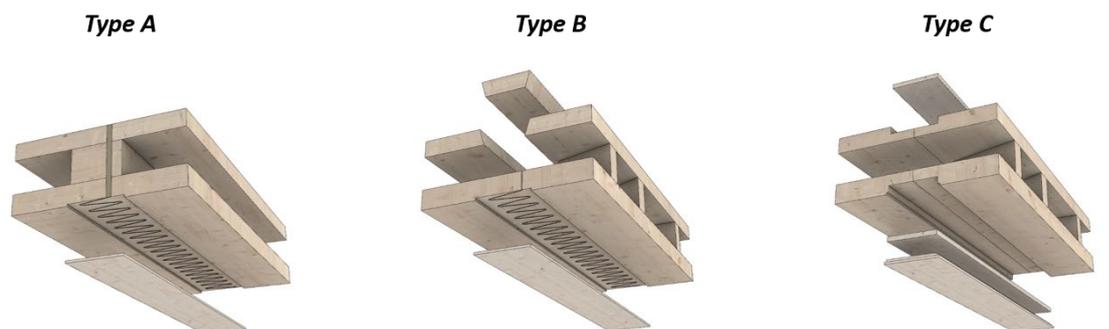


Abbildung 4: Verbindungstypen des Geschosdeckensystems.

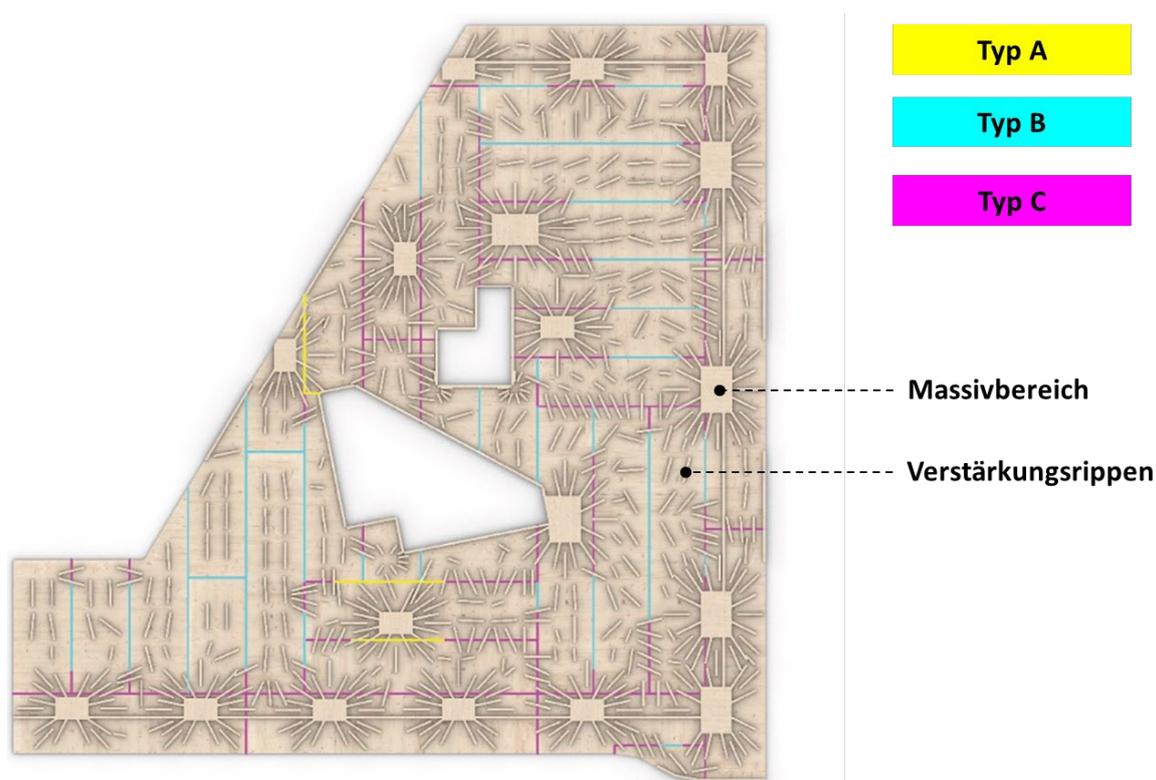


Abbildung 5: Decke OG1 des Bürotrakts im LCRL Gebäude mit Darstellung der Diskretisierung im Deckenhohlraum.

Die Holzgeschosdecke wird segmentweise werkseitig vorgefertigt und auf der Baustelle mittels innovativer Klebeverbindungen kraftschlüssig in beiden Tragrichtungen verbunden. Die Hauptfaserrichtung der Segmente ist an die Spannrichtung des Deckentragwerks angepasst. In Abstimmung zwischen Fertigungskomplexität und Tragfähigkeit hat IntCDC drei Verbindungstypen zur Fügung der Segmente entwickelt, die entsprechend des in der Decke vorherrschenden Schnittkraftniveaus positioniert sind. In den Bereichen mit hohen Biegemomenten werden die Deckensegmente mit hochleistungsfähigen, geklebten Keilzinkenverbindungen verbunden (Verbindungstyp A und B nach Abbildung 4), die die Zug- und Druckkräfte aus der Biegung über Schubflächen abtragen. In Deckenbereichen mit großen Querkräften sind Verstärkungsrippen an den Segmentkanten angeordnet und segmentübergreifend kraftschlüssig verbunden (Verbindungstyp C nach Abbildung 4).

Die Entwicklung des in der Forschung konzipierten Systems hin zur Umsetzung in einem realen Bauvorhaben erfolgt in enger Zusammenarbeit mit Fachplanern und Baufirmen. Dabei wird das System in Hinblick auf die Praxistauglichkeit der Planungs- und Herstellungsprozesse weiterentwickelt. Neben der Entwicklung des Systems selbst, sind gebäudespezifische Anforderungen in das System zu integrieren.

In Abstimmung mit der Tragwerksplanung stehen maßgeblich die Themen der statisch-mechanischen Modellbildung und Nachweisführung im Vordergrund. Die strukturoptimierte Geometrie, mit frei angeordneten Verstärkungsrippen, erfordert einen automatisierten Workflow zur Schnittkraftermittlung und Nachweisführung in einer parametrischen Umgebung. Ebenso muss die externe Prüfbarkeit der statischen Berechnungen durch einen Prüfsachverständigen gewährleistet sein. Die einzelnen Konstruktionsdetails und ihre Abweichungen von den bautechnischen Regelwerken erfordern gesonderte Untersuchungen und die Entwicklungen praxistauglicher Nachweiskonzepte. Seitens der Bauphysik ist einerseits die Integration von Elementen zur Sicherstellung von z.B. der Luftdichtheit, der Luftzirkulation oder der Wärmedämmung zu betrachten. Andererseits sind Anschlussdetails zu den zahlreichen angrenzenden Gewerken zu konstruieren. Die Architektur stellt weiterhin Anforderungen an die Sichtflächen und damit die Reduzierung von Fugenbreiten und sichtbaren Verklebungen. In Zusammenarbeit mit dem Fertigungs- und Montagebetrieb erfolgt vordergründig die Kostenoptimierung des Systems. Diese spiegelt sich sowohl in der Materialauswahl als auch in der Konstruktion der Verbindungstechnik wider. Geometrische Randbedingungen werden in Abstimmung auf die fertigungs- und montagetechnischen Möglichkeiten definiert. Dies betrifft sowohl die Abmessungen der Einzelbauteile als auch der zusammengesetzten Deckenelemente. Ebenso relevant ist die Eingrenzung der Herstell- und Montagetoleranzen und deren Rückkopplung mit den architektonischen, tragwerksplanerischen und bauphysikalischen Zielen.

Die Kombination von Brettsperrholzelementen und innovativer Klebeverbindungen in einer Hohlkastendecke ergibt ein hochleistungsfähiges, biaxial spannendes Deckensystem. Aus dem gezielten Einsatz von Laubholzverstärkungen und Elementen im Deckenhohlraum resultiert ein strukturoptimiertes Tragwerk mit minimalem Materialeinsatz. Der Verzicht auf Stahlverbindungen oder einem Verbund mit Beton macht das Deckensystem sortenrein trennbar.

## 4. Ausblick

In weiteren Forschungen soll das existierende Bausystem für den Einsatz für das Bauen im Bestand weiterentwickelt werden. Hierbei soll vor allem die leichte Bauweise und flexible Anpassungsfähigkeit des Bausystems optimal ausgenutzt werden um ohne Anpassungen der existierenden Tragstruktur im Bestand Aufstockungen vorzunehmen. Weiters wurde in bisherigen Untersuchungen die horizontale Aussteifung des Skelettbaus nicht betrachtet und muss im LCRL Gebäude mittels konventioneller Stahl-Windverbände hergestellt werden. Das Bausystem soll dahingehend erweitert werden.

## 5. Referenzen

- [1] «Bundesbauministerin Geywitz und Bundeslandwirtschaftsminister Özdemir legen Strategie für den Holzbau vor,» *Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen*. <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/Webs/BMWSB/DE/2023/06/holzbauintiative.html>.
- [2] A. Menges, J. Knippers, H. J. Wagner, and C. Zechmeister, «Pilotprojekte für ein Integratives Computerbasiertes Planen und Bauen,» in *Baustatik – Baupraxis 14*, M. Bischoff, M. von Scheven, and B. Oesterle, Eds. Stuttgart: Institut für Baustatik und Baudynamik, Universität Stuttgart, 2020, pp. 67–79.
- [3] H. Svatoš-Ražnjević, L. Orozco, and A. Menges, «Advanced Timber Construction Industry: A Review of 350 Multi-Storey Timber Projects from 2000–2021,» *Buildings*, vol. 12, no. 4, p. 404, Mar. 2022, doi: 10.3390/buildings12040404.
- [4] H. Chai, H. J. Wagner, Z. Guo, Y. Qi, A. Menges, and P. F. Yuan, «Computational design and on-site mobile robotic construction of an adaptive reinforcement beam network for cross-laminated timber slab panels,» *Autom. Constr.*, vol. 142, no. February, p. 104536, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104536.
- [5] A. Krtschil *et al.*, «Structural development of a novel punctually supported timber building system for multi-storey construction,» *J. Build. Eng.*, vol. 58, no. March, p. 104972, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.job.2022.104972.

- [6] H. J. Wagner, M. Alvarez, O. Kyjanek, Z. Bhiri, M. Buck, and A. Menges, «Flexible and transportable robotic timber construction platform – TIM,» *Autom. Constr.*, vol. 120, p. 103400, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103400.
- [7] H. J. Wagner, M. Alvarez, A. Groenewolt, and A. Menges, «Towards digital automation flexibility in large-scale timber construction: integrative robotic prefabrication and co-design of the BUGA Wood Pavilion,» *Constr. Robot.*, vol. 4, no. 3–4, pp. 187–204, Dec. 2020, doi: 10.1007/s41693-020-00038-5.
- [8] L. Skoury, F. Amtsberg, X. Yang, H. J. Wagner, T. Wortmann, and A. Menges, «A Framework for managing data in multi-actor fabrication processes,» 2022, doi: 10.1007/978-3-031-13249-0\_47.
- [9] F. Amtsberg, X. Yang, L. Skoury, H. J. Wagner, and A. Menges, «iHRC: An AR-Based Interface for Intuitive, Interactive and Coordinated Task Sharing Between Humans and Robots in Building Construction,» in *2021 Proceedings of the 38th ISARC*, 2021, no. Isarc, pp. 25–32, doi: <https://doi.org/10.22260/ISARC2021/0006>.
- [10] X. Yang, F. Amtsberg, L. Skoury, H. J. Wagner, and A. Menges, «Vizor, Facilitating Cyber-physical Workflows in Prefabrication through Augmented Reality,» 2022, vol. 2, pp. 141–150, doi: 10.52842/conf.caadria.2022.2.141.
- [11] C. Tapia, F. Amtsberg, A. Münzer, S. Aicher, and A. Menges, «Rotational Stiffness Of Newly Developed Lvl-Based Column-Head Reinforcement For Point-Supported Slab-Column Building Systems,» in *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2023)*, 2023, pp. 688–697, doi: 10.52202/069179-0094.
- [12] C. Tapia and S. Aicher, «A new concept for column-to-column connections for multi-storey timber buildings – Numerical and experimental investigations,» *Eng. Struct.*, 2023.
- [13] C. Tapia, H. J. Wagner, S. Treml, A. Menges, and S. Aicher, «Point-Support Reinforcement for a Highly Efficient Timber Hollow Core Slab System,» in *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2023)*, 2023, pp. 2978–2986, doi: 10.52202/069179-0388.
- [14] T. Müller and R. Di Bari, «Akustisches Verhalten von Holzgeschossdecken ökologisch neu gestalten,» *Fortschritte der Akustik - DAGA 2022*. 2022.
- [15] T. Müller and P. Leistner, «Integrative Ansätze zur Schwingungsreduzierung von Holzgeschossdecken,» *Fortschritte der Akustik - DAGA 2022*. Stuttgart, 2022.
- [16] L. Orozco *et al.*, «Design Methods for Variable Density, Multi-Directional Composite Timber Slab Systems for Multi-Storey Construction,» in *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, 2021, vol. 1, pp. 303–312, doi: 10.52842/conf.ecaade.2021.1.303.
- [17] L. Orozco, H. J. Wagner, A. Krtschil, J. Knippers, and A. Menges, «Preprint: Computational Segmentation Methods for the Material Efficient Co-Design of Point-Supported, Grid-Independent Floor Slabs in Timber Architecture,» *SSRN Electron. J.*, 2023, doi: 10.2139/ssrn.4484710.
- [18] C. Tapia, L. Stimpfle, and S. Aicher, «A new column-to-slab connection for multi-storey timber buildings,» vol. 19, pp. 297–318.
- [19] C. Tapia Camú, M. Claus, and S. Aicher, «A Finger-Joint Based Edge Connection for the Weak Direction of Clt Plates,» *SSRN Electron. J.*, vol. 340, no. May, p. 127645, 2022, doi: 10.2139/ssrn.4031418.
- [20] S. Aicher and C. Tapia, «Novel internally LVL-reinforced glued laminated timber beams with large holes,» *Constr. Build. Mater.*, vol. 169, pp. 662–677, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.02.178.

## 6. Danksagung

Das Forschungsteam für die Planung und Fertigung der Geschoßdecken im LCRL Gebäude besteht aus Architekten und Ingenieuren der Universität Stuttgart. Am ICD aus Prof. Achim Menges, Felix Amtsberg, Luis Orozco, Tim Stark, Hana Svatos-Raznievic, Simon Treml, Hans Jakob Wagner. Am ITKE aus Prof. Jan Knippers, Anna Krtschil, Simon Bechert, Valentin Wagner, Lorenz Riedel. Am IABP aus Prof. Philipp Leistner und Theresa Müller. An der MPA aus Dr. Simon Aicher, Cristobal Tapia, Aaron Münzer und Kai Simon.

Das LCRL Gebäudes wird von der IntCDC Planungsgesellschaft mit Markus Allmann, Eva Menges, Sabrina Bergmann, Ulrike Fuchs-Lee, Sebastian Thomas, Olaf Schäfer, Mostafa Aboughaly, Maddalena Cassani, Chiara Weiß, Daniel Sonntag und Moritz Münzenmaier geplant.

Weiters wurde das Deckensystem im Rahmen der Pre-Construction-Phase zusammen mit Sven Jörges, Thomas Mantzel und Simon Schmid von Züblin Timber weiterentwickelt.

Die Forschungsarbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen der Exzellenzinitiative – EXC 2120/1 – 390831618 unterstützt.

# **Klimagerechtes Planen und Bauen für die Zukunft**



# **circularWOOD – Kreislaufwirtschaft im Holzbau**

Dr.-Ing. Sandra Schuster, Architektin  
Technische Universität München  
München, Deutschland





# circularWOOD – Kreislaufwirtschaft im Holzbau

## 1. Einordnung

Die Bauindustrie hat erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt. Sie trägt gemäß den Vereinten Nationen zu etwa 40 Prozent der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen und mehr als der Hälfte des weltweiten Ressourcenverbrauchs bei [1]. Um diesen Umweltbelastungen entgegenzuwirken und die planetaren Grenzen zu respektieren, sind eine nachhaltige Ressourcennutzung, der Einsatz erneuerbarer Ressourcen und eine maximale Lebensdauer von Baustoffen im Stoffkreislauf von entscheidender Bedeutung. Die Integration von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft in den Holzbau wird bereits intensiv diskutiert, jedoch fehlen bisher grundlegende Kenntnisse und Konzepte für eine angemessene Übertragung dieser Prinzipien auf den modernen Holzbau. Theoretische Abhandlungen zu diesem Thema umfassen eine breite Palette von Perspektiven, jedoch fehlt eine übersichtliche Darstellung relevanter Themenfelder für die Branche. Erste Erfahrungen zeigen, dass technische, konstruktive und logistische Herausforderungen bewältigt werden müssen.

## 2. Forschungsprojekt circularWOOD

Das Forschungsprojekt circularWOOD – Paradigmenwechsel für den vorgefertigten Holzbau [2] greift die relevanten Fragestellungen zur Übertragung zirkulärer Prinzipien auf den modernen Holzbau auf. Dieser Bericht bietet einen Überblick über Erkenntnisse aus der Literatur, analysiert die Hindernisse und Potenziale aus Sicht der Holzbaubranche, fasst Erfahrungen aus ersten Umsetzungsprojekten zusammen und skizziert Elemente für ein zukünftiges Bild der Kreislaufwirtschaft im Holzbau. Der Schwerpunkt des Projekts liegt auf einer hochwertigen stofflichen Nachnutzung.



Abbildung 1: © circularWOOD Themenlandkarte. Eigene Darstellung, strukturiert nach Ahn et al. (2022)

Die Methodik umfasst eine ausführliche Literaturrecherche, gefolgt von einer empirischen Untersuchung, die eine Stakeholderanalyse, Fallstudien zu Umsetzungspraktiken und Expert:inneninterviews einschließt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden iterativ verknüpft, Zukunftsszenarien abgeleitet und Handlungsempfehlungen formuliert. Die Ergebnisse dienen der Einordnung und Synthese theoretischer Erkenntnisse sowie praktischer Erfahrungen zur Kreislauffähigkeit von Holzbauten. Ferner werden lösungsorientierte Optionen mithilfe von Zukunftsszenarien beschrieben. Der Bericht identifiziert zudem konkreten Forschungsbedarf und entwickelt Handlungsempfehlungen für die Umsetzungspraxis. Diese Ergebnisse tragen dazu bei, Entscheidungstragende und Akteur:innen in der Bau- und Planungspraxis zu unterstützen und den Übergang zur Skalierung der Kreislauffähigkeit im modernen Holzbau zu erleichtern.

### 3. Design for Disassembly

Ein zentraler Aspekt, der im Rahmen des Projekts untersucht wird, ist das Design für Disassembly (DfD). Dieser Begriff beschreibt ein zukunftsorientiertes Entwurfs- und Planungsprinzip für kreislaufgerechte Gebäude. Das Hauptziel von DfD besteht darin, Gebäude so zu planen und zu konstruieren, dass sie einfach und möglichst zerstörungsfrei demontiert, sortenrein getrennt und recycelt werden können. Durch die Umsetzung von DfD soll ein großer Anteil der Baumaterialien und -stoffe am Ende ihrer Lebensdauer (End of Life, EoL) in eine hochwertige stoffliche Nachnutzung überführt werden. DfD bildet somit die Grundlage für die Rückbaubarkeit von Gebäuden, da der Aufwand für den Rückbau maßgeblich darüber entscheidet, ob ein ökonomisch rentabler Rückbau möglich ist und gleichzeitig die Auswirkungen auf die Umwelt minimiert werden können.

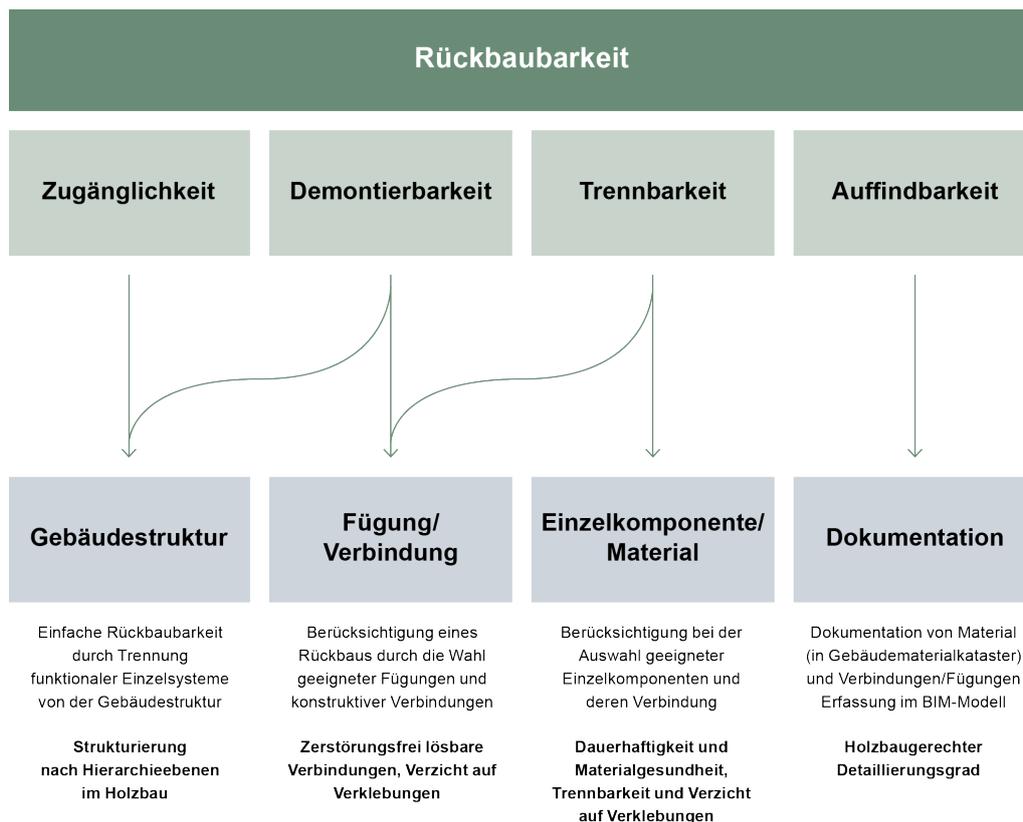


Abbildung 2: © circularWOOD, Aspekte der Rückbaubarkeit kreislaufgerechter Holzbauten

Das Forschungsprojekt circularWOOD betrachtet im Kontext von DfD die unterschiedlichen Aspekte der Rückbaubarkeit, wie beispielsweise die Auswahl der Materialien, geeignete Verbindungsmittel, die Gestaltung von Fügungen und deren Demontierbarkeit bis hin zur langfristigen Dokumentation als Grundlage für einen zukünftigen Rückbau. Der Ansatz des Design for Disassembly ist ein wichtiger Baustein für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft im Holzbau. Indem Gebäude so konzipiert werden, dass sie am Ende ihrer Lebensdauer leicht in ihre Bestandteile zerlegt und wiederverwendet werden können, wird die

Menge an Abfall und der Bedarf an neuen Ressourcen reduziert. Dies trägt zur Verringerung der Umweltauswirkungen der Bauindustrie bei und fördert eine nachhaltigere Nutzung von Ressourcen. Der ganzheitliche Ansatz des circularWOOD-Projekts trägt dazu bei, das Bewusstsein für die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft im Holzbau zu schärfen und das Wissen über nachhaltige Praktiken und Ansätze zu erweitern. Durch die Zusammenführung von theoretischen Erkenntnissen, praktischen Erfahrungen und zukunftsorientierten Szenarien bietet das Projekt eine Grundlage für die Entwicklung von Strategien und Maßnahmen zur Förderung einer nachhaltigen und kreislauffähigen Bauindustrie.

## Acknowledgement

Das Forschungsprojekt «circularWOOD – Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau» entstand im Rahmen einer Forschungsk Kooperation des Lehrstuhls für Architektur und Holzbau der Technischen Universität München und dem Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CTP) der Hochschule Luzern – Technik & Architektur. Mein besonderer Dank gilt meiner Forschungspartnerin Dr. Sonja Geier für die konstruktive Zusammenarbeit.

Das Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

## 4. Literatur

- [1] EASAC. (2021). Decarbonisation of buildings: for climate, health and jobs. Science advice for the benefit of Europe: Bd. 43. EASAC Secretariat Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina - German National Academy of Sciences. <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:3:2-137698>
- [2] Schuster, Sandra; Geier, Sonja, 2023: circularWOOD: Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau. BBSR-Online-Publikation 15/2023, Bonn.



# Möglichkeiten im Holzbau – die «Wanderschule» in Prüm als aktuelles Beispiel

Erhard Botta  
werk.um architekten  
Darmstadt, Deutschland



Anne Kettenburg  
werk.um architekten  
Darmstadt, Deutschland





# Möglichkeiten im Holzbau – ein aktuelles Beispiel aus Prüm

## 1. Die «Wanderschule»

Innerhalb einer Gesamtprojektzeit (Planung und Bau) von zweieinhalb Jahren entstand in Prüm in der Eifel ein Vorzeigebau, der seinesgleichen sucht: Ein modernes, qualitativ hochwertiges und an den Passivhausstandard angelehntes Schulgebäude in Holzmodulbauweise, das nach einer Nutzung von ca. vier Jahren demontiert und in jeweils kleineren Einheiten an voraussichtlich vier anderen Standorten als dauerhafte Erweiterungen erneut aufgebaut wird. Die Vorgehensweise zeigt, wie ein nachhaltiges und ressourcenschonendes Bauen in Zukunft aussehen kann.

### 1.1. Ausgangslage

So viel sei vorweggenommen: Die Aufgabenstellung ist in jeder Stadt und in jedem Landkreis bekannt – die Lösung jedoch außergewöhnlich, weitsichtig und vorbildlich.

Das Regino-Gymnasium – seit 1852 beheimatet in einer alten, denkmalgeschützten Benediktinerabtei – muss einer Generalsanierung unterzogen werden. Auf Grundlage einer Machbarkeitsstudie entscheidet man sich gegen eine aufwendige, langwierige und unwirtschaftliche Sanierung in mehreren Bauabschnitten bei laufendem Schulbetrieb. Es wird beschlossen, eine Ersatzschule zu errichten, um den rund 800 Schüler:Innen und etwa 80 Lehrer:Innen für vier Jahre ein neues Zuhause zu ermöglichen.



Abbildung 1: Die asphaltierte Schulhoffläche des Interimsgebäudes für das Regino-Gymnasium wird nach Fertigstellung noch zониert und mit Grünflächen versehen (© werk.um architekten)

### 1.2. Anforderungen und Ziele

Anstatt einer minderwertigen, kompromissbehafteten Containerlösung soll ein hochwertiges, neues Gebäude in Holzmodulbauweise errichtet werden, dass sowohl ressourcenschonend als auch aus pädagogischer Sicht zukunftsweisend ist. Das Ziel: Mit dem Gebäude einen innovativen Beitrag leisten, um die im Kreisentwicklungskonzept anvisierte Klimaneutralität bis zum Jahre 2030 zu erreichen. Nach der Nutzung als Interimslösung für das Regino-Gymnasium soll mit einem Umsetzen des Gebäudes bzw. vielmehr einzelner Gebäudeteile an andere Schulstandorte der enorme Bedarf an zusätzlichen Schulergänzungsbauten in der Region gedeckt werden. Dafür muss das zu errichtende Gebäude

demontierbar, transportierbar und zum mehrmaligen Wiederaufbau geeignet sein – sozusagen eine mobile Immobilie entstehen. Folglich werden bereits bei der Planung der Erstnutzung die Anforderungen einer Zweit-, Dritt- bzw. Mehrfachnutzung mitberücksichtigt.



Abbildung 2: Die Montage der Module fand in drei, jeweils etwa drei Wochen andauernden Bauabschnitten statt (© digitalgrafie)



Abbildung 3: Die Holzmodulbauschule steht übergangsweise auf einem Sportplatz am Stadtrand. Hier der Blick auf die Hanglage gegen Norden (© Thomas Ott, www.o2t.de)

### 1.3. Vorgehensweise

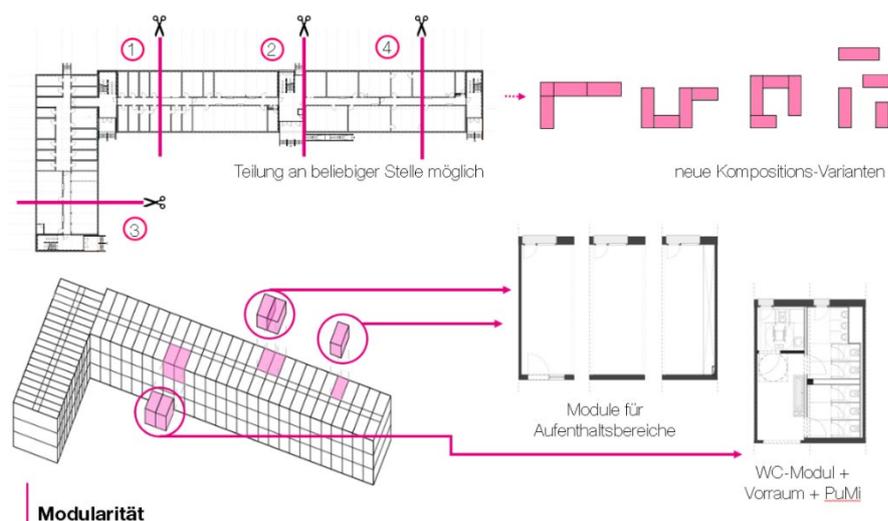
Mittels eines VgV-Verfahrens findet sich ein Generalplaner und auf Grundlage einer Leistungsbeschreibung später ein Generalunternehmer – beide mit hinreichend Erfahrung bei solchen Holzbauten. Als Grundstück für vier Jahre bietet sich ein Sportplatz am Standrand an, der in unmittelbarer Nähe zu anderen Schulen liegt und sowohl bezüglich Medienanbindung als auch verkehrstechnisch bereits gut erschlossen ist. Ein besonderer Reiz stellt die Hanglage mit sechs Metern Höhendifferenz und der unverbaute, fantastische Ausblick in die Landschaft Richtung Süden dar.



Abbildung 4: In der obersten Etage bietet sich ein weiter Blick in die Landschaft (© werk.um architekten)

### 1.4. Konzept

Die Grundidee ist, das Gebäude modular und additiv aus Raummodulen zusammenzusetzen und zu ermöglichen, dass es später an jeder erwünschten Stelle teilbar sein kann. Im ersten Schritt ergibt sich zunächst eine Kette/Raupe/Gliederwurm, der in eine beliebige Form gebracht werden und somit auf städtebauliche und funktionale Anforderungen reagieren kann. Im konkreten Fall wird dann eine L-Form favorisiert, die das Grundstück in zwei Bereiche gliedert: einen nördlichen, hangseitigen Bereich mit PKW-Stellplätzen und eine große, südorientierte Fläche als Schulhof, über den auch die Gebäudeerschließung sowie die Baustelleneinrichtung erfolgt.



Modularität

Abbildung 5: Konzeptskizze (© werk.um architekten)

## 1.5. Raummodule und Raumprogramm

Durch Kombination von 266 Raummodulen mit ergänzenden Holzelementen im Bereich der Bodenplatte, Flure, Treppenhäuser und Dachelemente lässt sich das Bauwerk sehr wirtschaftlich umsetzen. Die Module sind so konzipiert, dass sie auch an einem neuen Standort an jeder beliebigen Stelle eines dreigeschossigen Gebäudes stehen können. Das bedeutet, dass jedes Modul statisch so dimensioniert ist, dass es noch zwei Raummodule tragen kann. Dies ermöglicht maximale Flexibilität bei gleichbleibend hoher Qualität. Wenn eine Zweitnutzung mehrere unterschiedliche Gebäude (von ein bis drei Geschossen) erfordert, müssen ggf. noch Dachelemente oder gedämmte Außenwände ergänzt werden, die Grundmodule bleiben jedoch unverändert.

Unter Berücksichtigung des Transports, der Fertigung, Montage und den erwünschten Raumgrößen werden Modultypen entwickelt, mit denen sich das erwünschte Raumprogramm exakt umsetzen lässt (Klassenräume verschiedener Größen, Räume für Naturwissenschaften, Mediathek, Lehrerzimmer, Verwaltung, Sanitärbereiche etc.). Beispielsweise besteht ein Klassenraum von 60 m<sup>2</sup> aus drei 20 m<sup>2</sup>-Modulen: Einem mit einer Schrankzone für Lüftungstechnik, Regalen und Fächern, einem zweiten mit Anschlüssen für digitale Tafeln und Eingangstür sowie einem «Mittelmodul». Mit weiteren, zusätzlichen «Mittelmodulen» lassen sich auf einfache Art und Weise aber auch Räume von 80 m<sup>2</sup>, 100 m<sup>2</sup>, 120 m<sup>2</sup> oder mehr bilden – je nach Notwendigkeit.





Abbildungen 6, 7 und 8: Die verschiedenen Unterrichtsbereiche zeigen: Eine helle und freundliche Atmosphäre erwartet die Lernenden und Lehrenden, Sichtbeziehungen erlauben außerdem großzügige Lernlandschaften und unterstützen das Brandschutzkonzept (© Thomas Ott, [www.o2t.de](http://www.o2t.de))

## 1.6. Neues Lernen und Brandschutz

Im Schulgebäude sind im Erdgeschoss Sondernutzungen, Fachräume und Verwaltung untergebracht, in den Obergeschossen Naturwissenschaften, Computerräume und die allgemeinen Unterrichtsräume. Letztere sind als «Lerncluster» organisiert und erlauben somit Unterricht nach neusten pädagogischen Konzepten: Dieser findet nicht mehr ausschließlich hinter geschlossenen Türen und vor der gesamten Klasse frontal statt, sondern eine Gruppe, im Falle des Regino-Gymnasiums eine Lern-WG, «bewohnt» und nutzt einen Bereich der Schule flexibel. So stehen nun einerseits geschlossene Räume zur Verfügung, andererseits aber auch kleinere, abgetrennte Differenzierungsräume sowie zum Flur hin gänzlich offene Bereiche mit großzügigen «Lernlandschaften». In Summe bieten sie eine Vielzahl unterschiedlicher, räumlicher Qualitäten zum Lernen.

Möglich wird die offene und flexible Unterrichtsorganisation mit Lernclustern aufgrund des realisierten und innovativen Brandschutzkonzepts, das – anstelle der sonst typischen, notwendigen Flure – Nutzungseinheiten definiert und somit keine höheren Anforderungen an die Flurwände notwendig macht. Im Gegenteil: Alle Gruppen einer Klasse oder eines Kurses sind über Sichtbeziehungen (u.a. großzügige Innenfenster mit Ein- und Ausblicken und Sitzgelegenheiten) miteinander verbunden. Diese unterstützen das Brandschutzkonzept und erleichtern zugleich die Aufsichtspflicht für das Lehrpersonal.

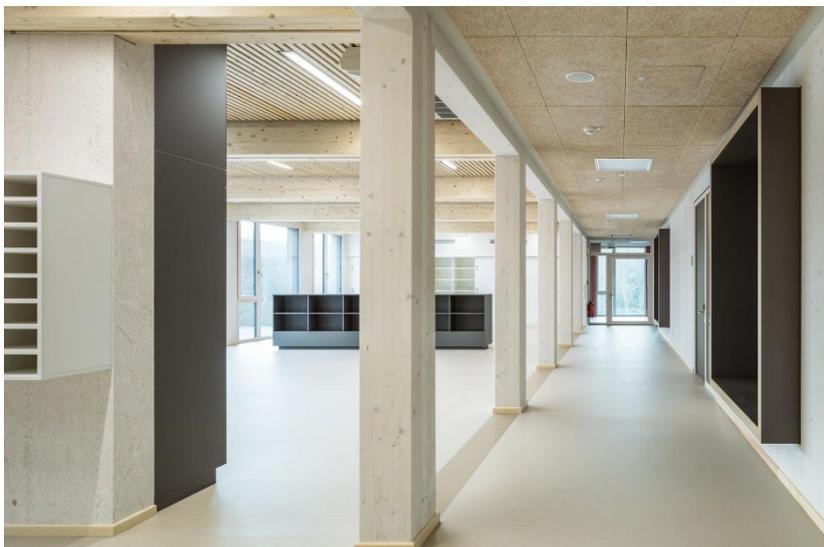


Abbildung 9: Situation innerhalb einer Nutzungseinheit. Die Innenfenster zum Flur können und sollen gerne als Sitzgelegenheit dienen (© Thomas Ott, [www.o2t.de](http://www.o2t.de))

Jeweils ein Lerncluster setzt sich aus zwei Nutzungsbereichen zusammen, die jeweils eine maximale Größe von 400 m<sup>2</sup> haben. Die brandschutztechnisch erforderliche Tür zwischen den Nutzungsbereichen steht offen und schließt nur im Brandfall. Jede Nutzungseinheit hat einen direkten Zugang zu einem Treppenhaus und ihren zweiten baulichen Rettungsweg in die benachbarte Nutzungseinheit (mit dessen angegliedertem Treppenhaus). Rettungsweglängen und Brandabschnitte sind wirtschaftlich so optimiert, dass die Anzahl der Treppenhäuser auf die erforderlichen vier beschränkt bleibt. Brandschutztechnisch ist das Gebäude in Gebäudeklasse 4 eingestuft. Eine Eingangsrampe und ein zentraler Aufzug ermöglichen eine barrierefreie Erschließung aller Räume und Nutzungsbereiche.



Abbildungen 10 und 11: (Oben) Haupteingang mit Rampe, vor den Fenstern ist der textile Sonnenschutz großteils heruntergefahren. (Unten) Blick auf den seitlichen, westlichen Flügel (© werk.um architekten)

## 1.7. Technik

Im Einklang mit den Klimaschutzzielen des Eifelkreises wurde die wärmedämmende Hülle in Passivhausstandard und ein modulbautaugliches Technikkonzept in Anlehnung daran gewählt. Und auch wenn die technische Ausrüstung nicht alle Passivhausanforderungen erfüllt, ist ihr Standard bereits hoch: So verfügt das Gebäude über eine autarke Wärmeerzeugung mittels Luft-Luft-Wärmepumpe sowie eine Photovoltaikanlage auf dem Dach. Die Wärmeverteilung über Zuluft erledigen Klima-Splitgeräte, mit denen sich das Gebäude in den Sommermonaten auch kühlen lässt – eine einfache, nachhaltige Lösung, steht doch gerade dann ausreichend elektrische Energie aus eigener Stromerzeugung zur Verfügung. Da für die Treppenhäuser, Sanitärbereiche und Nebenräume erfahrungsgemäß kaum Heizenergie erforderlich ist, werden diese im Bedarfsfall über Infrarotheizstrahler beheizt [1].

Für den erforderlichen Luftaustausch von 700 m<sup>3</sup>/h sorgen dezentrale, direkt an die Fassade angeschlossene Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung und integrierter Nachtkühlung mittels Bypass-Steuerung. Diese Geräte sind unsichtbar im Einbauschränk der Räume integriert. Diese technische Ausstattung benötigt ein Minimum an Leitungsführung, sodass sie bei Demontage in den Modulen verbleiben kann. Gleichzeitig ist sie bei späterer Raumgrößenänderung skalierbar: Ein 120 m<sup>2</sup> großer Raum verfügt dann beispielsweise über zwei Lüftungsgeräte, die jeweils für 60 m<sup>2</sup> ausgelegt sind.

Bei einem Umzug des Gebäudes bleiben auch alle sanitärtechnischen Komponenten in den Modulen bestehen und müssen nicht rückgebaut werden. Alle Sanitärmodule wurden komplett inklusive WC-Schüsseln, Seifenspender und Papierhalter firmen-/werkseitig gefertigt und vor Ort lediglich miteinander gekoppelt. Die technische Versorgung aller Module wird über eine Verteilung in der Flurdecke sichergestellt.

## 1.8. Konstruktion und Materialien

Materialien und Konstruktionsprinzipien wurden sowohl hinsichtlich Montage und Demontage als auch hinsichtlich Transport möglichst einfach und flexibel gehalten. Die Module sind ohne zusätzliche mechanische Verbindungen lediglich aufeinandergestapelt, mit Holzrollen für eine exakte Positionierung und sogenannten Phone-Strips als akustische Entkopplung. Dieses simple Fügungsdetail gewährleistet nicht nur eine sichere Montage, sondern auch die erwünscht rasche Re- und Wiedermontage an neuen Standorten [2].



Abbildung 12: Ein Modul wird eingepasst, die Verbindung erfolgt nur über Holzrollen (© digitalgrafie/Blitzwerk)



Abbildungen 13 und 14: (Links) Mit luftigem Abstand kommen die Elemente der Bodenplatte auf die Einzel-fundamente. (Rechts) Die Raummodule enthalten bereits alles Wesentliche wie Fenster, Akustikdecke etc. (©13: werk.um architekten, ©14: digitalgrafie/Blitzwerk)

Auf die vorhandene plane Sportplatzfläche kamen Einzelfundamente als Betonfertigteile. Im Abstand von etwa 30 cm zum Gelände wurde danach der Holzbau errichtet – eine Kombination aus Holzrahmen- und Massivholzbau bzw. aus Modul- und Elementbau.

Die Fassade besteht aus einer hinterlüfteten, vorvergrauten und wartungsfreien Lärchenholzschalung sowie robusten Holz-Alu-Fenstern mit textilem Sonnenschutz (außenseitig). Die Wandoberflächen der Räume bilden einfache, hell lasierte OSB-Platten, die farblich auf die Fensterrahmen und -flügel abgestimmt sind. Die Decke in den Klassenzimmern und Aufenthaltsräumen wirkt über ihre Holzlamellenstruktur als Akustikabsorber und erfüllt somit die raumakustischen Anforderungen an einen Schulbetrieb. Flurwände bzw. Fluroberflächen bilden den Modulabschluss: Die aus Massivholz bestehenden, lasierten Brettsperrholzwände sind lediglich weiß lasiert, das Material bleibt somit optisch wie haptisch erlebbar. Nach oben hin verbergen Holzwole-Leichtbauplatten die darunter liegenden Leitungsführungen.

Alle Böden sind mit strapazierfähigem Linoleum ausgelegt. Somit wurden fast ausschließlich ökologische, nachhaltige Baustoffe verbaut. Einzig die Treppenläufe sind aus Betonfertigteilen gefertigt, erfüllen aber damit und ohne weitere notwendige Aufbauten alle Anforderungen an Statik, Brand- und Schallschutz und die Optik.



Abbildung 15: Das spätere Lehrerzimmer im EG. Der Linoleumboden zieht sich durch das ganze Gebäude.  
(©Thomas Ott, www.o2t.de)

## 1.9. Termine, Logistik, Bauablauf

Die Planungsphase inklusive Bauantrag und Ausschreibung betrug lediglich sechs Monate. Nach einer Vergabephase von vier Monaten war ein Generalunternehmer mit der Realisierung beauftragt: Eine Arbeitsgemeinschaft aus drei leistungsstarken Holzbauunternehmen [3], die sich zur Angebotsabgabe zusammenschloss und so die hohen Anforderungen an Qualität und Termine gemeinsam bewältigen konnte. Diese Kombination ermöglichte das parallele Fertigen der Module und Elemente in drei unterschiedlichen Werken in drei Bundesländern – und somit eine zügige Montage vor Ort. Es zeigt sich: Mit modernen Planungstools und Projektmanagement ist es gut möglich, Planung und logistische Abläufe zu optimieren und auf mehrere Schultern zu verteilen.

Nach sechs Monaten für Entwässerung, Gründung und Schulhofasphaltierung wurde das schlüsselfertige Holz-Modul-Gebäude in 14 Monaten montiert und in Betrieb genommen – wengleich während des Bauprozesses die zu der Zeit stark gestiegenen Holzpreise und die Lieferengpässe durch Corona-Nachwirkungen sowie durch den Krieg in der Ukraine eine große Herausforderung waren: Einige Materialien trafen wesentlich später als geplant ein, Einzelteile von Lüftungsgeräten konnten beispielsweise erst ganz zum Schluss eingebaut werden. Als Reaktion darauf, aber auch aus logistischen Gründen verlegten die ausführenden Firmen mehr Ausbauarbeiten auf die Baustelle als es eigentlich für die Bauweise mit ihrem bewusst hohen Vorfertigungsgrad nötig gewesen wäre. Da der Innenausbau bei Demontage jedoch in den Modulen verbleibt, spielt dieser Punkt im Nachhinein nun keine Rolle mehr.

## 2. Nachhaltigkeit dank Holzmodulbau

Insgesamt wurden 2.760 m<sup>3</sup> Holz und Holzwerkstoffe verbaut, was einem massiven Holzwürfel von 14 m Kantenlänge entspricht. Das Gebäude ist aber nicht nur in Bezug auf die verwendeten Materialien (Holz als CO<sub>2</sub>-Speicher und nachwachsender, heimischer Rohstoff) vorbildlich und nachhaltig, sondern auch wegen seiner optimierten Gebäudetechnik mit Energiegewinnung durch die hauseigene PV-Anlage.

Ein weiterer Aspekt der Nachhaltigkeit besteht in der hohen Qualität (maßhaltige und witterungsunabhängige Fertigung) und Flexibilität. Somit kann sich der Schulbau nicht nur an sich ändernde Bedarfe anpassen, sondern auch bei Bedarf den Ort wechseln – als ganzes Gebäude oder auch nur in Teilen. Durch diese Vorgehensweise, die man sich von noch mehr Kommunen und Bauherren wünschen würde, lassen sich auch Grundstücke zeitweise nutzen, die nicht für eine dauerhafte Bebauung vorgesehen sind oder dafür bereitgestellt werden sollen. Eine gute Lösung für eine sich wandelnde Gesellschaft: Wir bauen also nach wie vor hochwertig und dauerhaft, können aber auch bei Bedarf mit dem Gebäude an einen anderen Ort wandern.

### 3. Literatur und weitere Informationen:

- [1] Mit Infrarottechnik zur Wärmeerzeugung konnte unser Büro bereits mit dem Genossenschaftsbau K76 gute Erfahrungen machen, zugleich wurde das Konzept des hochgedämmten und mit Infrarot-Strahlung beheizten Nur-Strom-Hauses über ein Forschungsprojekt durch die Hochschule Konstanz auf Sinnigkeit untersucht. Siehe z.B.:

<https://www.ingenieur.de/fachmedien/hlh/heiztechnik/infrarot-direktheizung-als-alternative-zur-waermepumpe/>, oder direkt den

IR-Bau-Abschlussbericht über das Potenzial von Infrarot-Heizsystemen für hocheffiziente Wohngebäude (Forschungsinitiative Zukunft Bau), Stand 02/2020:

<https://www.baufachinformation.de/potenzial-von-infrarot-heizsystemen-fuer-hocheffiziente-wohngebäude/fb/253414>



- [2] Ein Video fasst den Bauablauf und das Konzept zusammen:  
[https://www.werkum.de/film/Montagefilm\\_Regino\\_Gymnasium\\_Pruem2.mp4](https://www.werkum.de/film/Montagefilm_Regino_Gymnasium_Pruem2.mp4)
- [3] Generalunternehmer: ARGE BBS: SAINT-GOBAIN Brüggemann Holzbau GmbH (federführend), Baumgarten GmbH, Zimmerei Stark GmbH.

Weitere Projektbeteiligte:

Eifelkreis Bitburg-Prüm (Bauherr), bauart Konstruktions GmbH & Co. KG (Tragwerks-planung, Bauphysik, Brandschutz), ssih – Schallschutz im Holzbau (Raumakustik), Eifelkreis Bitburg-Prüm mit emutec GmbH (Technische Gebäudeausrüstung), O.C.P. office consult partner e.K. (Fachklassenplanung), LernLandSchaft – Karin Doberer (Beratung/Planung Pädagogisches Konzept), Plan-Lenz GmbH (Landschaftsplanung), Ingenieurbüro Scheuch GmbH (Vermessung), umweltgeotechnik GmbH (Bodengutachten), Hermann Köppen Ing.-Bau GmbH & Co KG (Tiefbauarbeiten), Hohenloher Spezialmöbelwerk Schaffitzel GmbH & Co. KG (Fachklassenausstatter), ASD Michael Mentges (SiGeKO) – und viele mehr, denen ebenso Dank gebührt ...

# Bauen – einfach und ressourcenneutral

Martin Haas  
haascookzemmrich STUDIO2050  
Stuttgart, Deutschland





# Bauen – einfach und ressourcenneutral

## 1. Einleitung

Die aktuelle Debatte um eine verantwortbare Lebensqualität ist auch Ausdruck eines grundlegenden Wandels unserer Gesellschaft, der über die Themen des Umweltschutzes und der Klimakrise hinausgeht – Es gilt Mensch, Raum und Umwelt wieder in Einklang zu bringen. Uns Architekten, als Gestalter von Ordnungsmustern des menschlichen Zusammenlebens, kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu.

In unserem Architekturbüro arbeiten wir seit nun 11 Jahren an Konzepten für eine Architektur die ressourcenschonender und im Idealfall klimaneutral werden kann. Unser Fokus liegt dabei nicht nur in baulichen Lösungen, sondern auch in der Betrachtung grundsätzlicher Fragen wie dem Bedarf und dem Anspruch an Komfort und langfristigen Nutzen einer Bauaufgabe.

Ein zentrales Thema für uns ist ebenso die Abwägung, ob eine höhere Effizienz immer auch den gewollten gesamtökologischen Effekt erzielt. In einer gesamtheitlichen Betrachtung beispielsweise einer Dämmung sind auch der Ressourcenverbrauch und der energetische Aufwand bei der Herstellung und Entsorgung des Materials mit zu berücksichtigen. Ebenso spielen die Art und Dauer der Nutzung eine noch viel zu geringe Rolle in der Betrachtung der ökologischen Wirkung einer Baumaßnahme. Gemessen wird der Energie- und Ressourcenbedarf pro Quadratmeter und Jahr. Nicht bewertet wird die Dauer und Intensität der tatsächlichen Nutzung. Es macht aber einen deutlichen Unterschied, ob das einmal errichtete Gebäude mit dem hohen Anteil eingebundener Energie nur wenigen Menschen in einem eingeschränkten Zeitfenster oder maximal vielen Menschen dauerhaft zur Verfügung steht. Im Idealfall sollte Architektur jeden Tag im Jahr 24 Stunden von vielen Menschen genutzt sein, um den Aufwand des Errichtens zu rechtfertigen.



Abbildung 1: Rapunzel Welt

Fotograf: Markus Guhl

## 2. Konzepte und Ideen einer Architektur 2050

Aus meiner Arbeit als Vorstand des DGNB und im Büro kenne ich die Diskrepanz zwischen technischer Performance auf der einen Seite und realer Effektivität auf der anderen Seite, wenn es um eine ganzheitliche Betrachtung des Ressourcenschutz beim Bauen geht. In Deutschland steht der Betrieb des Gebäudes im Vordergrund. Oftmals reduziert sich Nachhaltigkeit auf eine effiziente Anlagentechnik. Dabei vergessen wir, dass der materialgebundene Aspekt einer Bauaufgabe wesentlich ist und für die CO<sub>2</sub> Neutralität unserer gebauten Umwelt betrachtet werden muss.

Anstatt hochkomplexer technischer Systeme, deren Abstimmung und Wartung sehr aufwendig ist, sollten wir eher über einen «intelligenten» Einsatz sorgfältig ausgewählter Materialien nachdenken und dabei anstreben technische Lösungen zunächst zu vermeiden. Ziel muss sein unsere Gebäude generell zu vereinfachen mit dem Augenmerk auf eine langfristige Nutzung.



Abbildung 2: High Tec + New Simplicity Quelle: Nimbus Leuchte Stefan Hohloch / Lehmwand Markus Bühler

Es muss uns gelingen, dass an erster Stelle ein materialgerechtes, mikroklimatisch optimiertes und möglichst ressourcenneutrales Gebäude entsteht, welches einen Großteil an unnötiger grauer Energie von Anfang an vermeidet. Nachwachsende, möglichst noch örtliche und wieder verwertbare Baumaterialien behalten ihr energetisches Potential bei einer Nachnutzung dauerhaft und sollten die Grundlage für die Beurteilung der Sinnhaftigkeit einer Baumassnahme werden.

Es sollte die technische Installation eines Gebäudes nur das Delta an Betriebsklima füllen, welches eine ressourcengerechte Architektur nicht mehr leisten kann, um den Komfortansprüchen gerecht zu werden. In diesem Zusammenhang gilt es unsere Komfortansprüche und die gesetzlichen Vorgaben dafür kritisch zu hinterfragen. Vieles davon ist mit dem Klimaschutz nicht mehr vereinbar. Wir dürfen nicht vergessen das unsere DIN-Normierung und unsere gesamte Baugesetzgebung größtenteils aus einer Zeit stammt in der Ressourcenschutz nicht an erster Stelle stand.

Unser Ziel ist es daher, jede Architektur funktionsunabhängig so gut zu entwerfen, dass die Räume von vielen unterschiedlichen Nutzern genutzt werden können. Funktionen werden sich ändern. Lebensräume können bleiben. Das muss uns als Architekten antreiben. Monofunktionale Strukturen, eingeschränkte und zeitlich befristete Gebäudenutzungen müssen daher kritisch hinterfragt werden und auf ihre Nachnutzungsfähigkeit überprüft werden. Bei der Frage, wie unsere Welt und der Anspruch an die Architektur 2050 aussehen könnten, ist es wichtig, aus der Vergangenheit zu lernen. So hat sich gezeigt, dass sich die Art und Weise, wie wir Menschen Räume empfinden, trotz aller Umwälzungen des 19. und 20 Jahrhunderts nicht sehr verändert hat. Es ist daher ein gewisser Garant für den Erfolg einer Architekturvision, bei jeder Spekulation auf die

Zukunft den menschlichen Maßstab, gute Proportionen und vielschichtige sensorische Erfahrungen als Leitbilder in der Architekturentwicklung beizubehalten. Ein spezialisiertes Bürogebäude mag schnell der Vergangenheit angehören. Der schöne Raum mit einem großartigen Ausblick wird immer eine Zukunft haben.

### 3. Zirkuläre Materialkreisläufe: weniger Abfall, mehr Wertstoffe

Diese Herangehensweise hat uns bei unserem Wettbewerbsbeitrag in Stuttgart für das Stöckach Areal, ein ehemaliges Industrieareal der ENBW, geleitet. Das Vorhandene sollte maximal erhalten und durch Sanierung aktiviert werden, da die Industriestrukturen gut nutzbare Proportionen aufwiesen. Durch eine reine Aktivierung des Vorhandenen wurde nicht die gewünschte Dichte im Quartier erreicht, was zu einer Nachverdichtung führte und zur Frage, welche Strukturen additiv möglich sind. Mit der TU München und Transolar haben wir ein Konzept erarbeitet, wie eine resiliente Stadt für das geplante Quartier umsetzbar wäre. Dabei hat sich gezeigt, dass vieles zwar planerisch möglich ist, aber das Ziel einer CO<sub>2</sub> neutralen Zukunft davon abhängt, ob die Gesellschaft bereit ist, die klassische Einteilung der Funktionen Wohnen, Arbeiten und Freizeit aufzulösen und zu teilen.

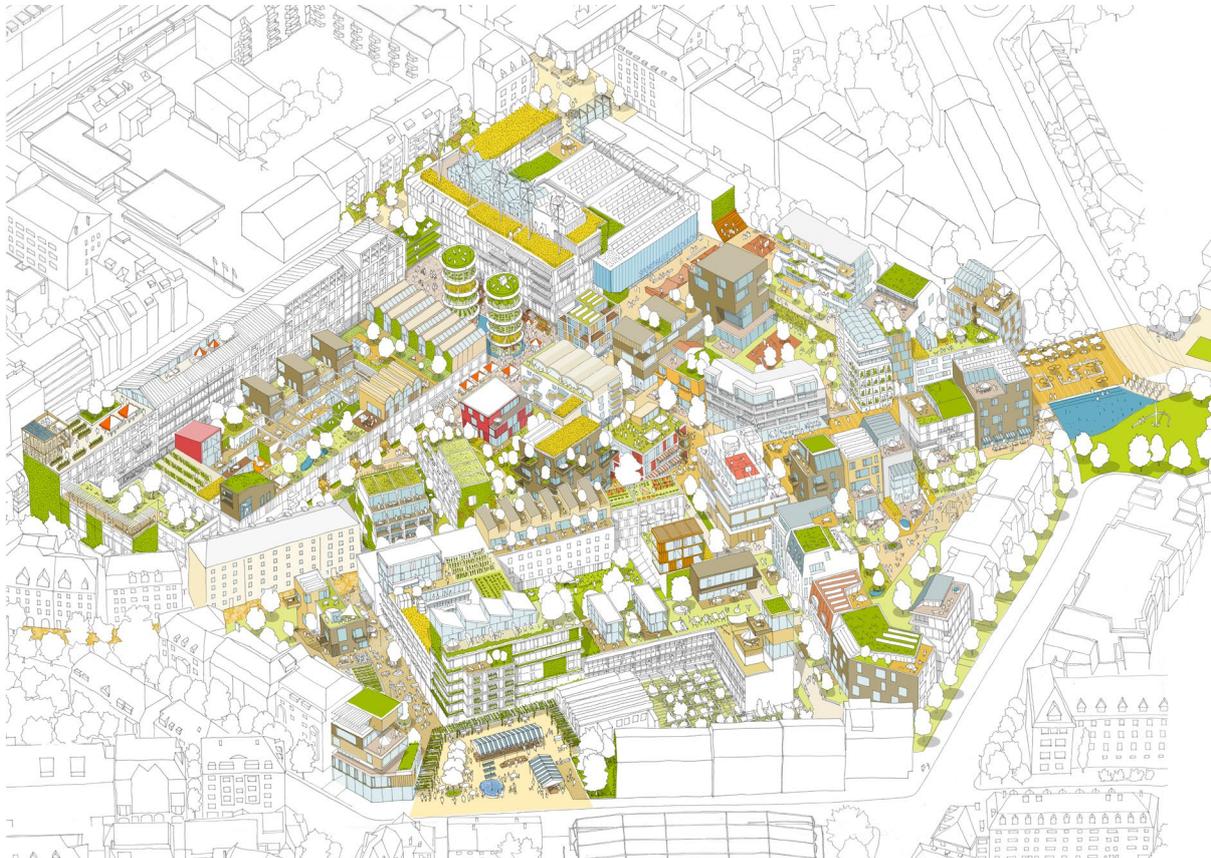


Abbildung 3: Wettbewerbsbeitrag Stöckach Areal

Architekten: haascookzemmrich STU-DIO2050

### 4. Die neuen Arbeitswelten

Der qualitative Anspruch an unsere Arbeitswelten hat sich den Anforderungen an Wohnraum angeglichen. Gesundheit und Wohlbefinden sind neben den funktionalen Kriterien wichtige Parameter einer Arbeitswelt geworden. Da die technische Entwicklung es uns erlaubt bürogebundene Tätigkeiten von überall aus auszuführen, muss eine Arbeitswelt darüber hinaus ein architektonisches Angebot an die Mitarbeiter machen, welches in der häuslichen Umgebung nicht vorhanden ist. Es gilt Treffpunkte und besondere Räume zu schaffen, um eine emotionale Bindung zum Mitarbeiter aufzubauen.



Abbildung 4: Innenansicht Promega Atrium

Fotograf: Roland Halbe

Bei unserem Projekt für Promega war es neben den Themen der Klimaneutralität und der Materialität Ziel Aufenthaltsräume zu schaffen, welche das Leben der Mitarbeiter bereichern und den Mehrwert der Unternehmenskultur zu veranschaulichen.

Wenn es uns gelingt, dass die Menschen die Häuser lieben, die sie nutzen, werden sie die Gebäude auch dauerhaft nutzen und dem Gebauten einen Sinn geben. Natürliche Materialien wie Holz und Lehm helfen sehr, diese Identifikation und emotionale Bindung aufzubauen.

So ist der Stampflehm der Fassade des Alnatura Campus nicht nur ökologisch sinnvoll, sondern auch ein wichtiger Schlüssel für den sensorischen Mehrwert des Gebäudes.

Die Schaffung eines gesunden und «gern-genutzten» Lebensraums für die 500 Mitarbeiter stand bei Alnatura im Vordergrund und nicht der Bau eines nur funktionalen Bürogebäudes.

Unser Entwurfsprozess beginnt zumeist mit einem ersten Ansatz, der durch eine geschickte Orientierung und Anordnung der Funktionen auf dem Grundstück alle mikroklimatischen Vorteile seines Umfeldes optimal nutzen kann.

Wir prüfen die Standortqualitäten für Belichtung, Belüftung und die Ressourcenbeschaffung. Wie müsste man an dem Standort bauen, wenn wir keine Energiequellen zur Verfügung hätten und alle Rohstoffe extrem limitiert wären?

Zumeist hilft dieser Ansatz eine robuste und einfache Lösung zu finden, welche dann auch in der Weiterentwicklung mit weniger Technik auskommt und in den Grundzügen gut mit dem Mikroklima des Standortes haushaltet.



Abbildung 5: Außenansicht Alnatura Arbeitswelt

Fotografin: Brigida Gonzalez

So wurden auch zu Beginn unseres Projektes für Alnatura auf einer Konversionsfläche in Darmstadt zahlreiche Entwurfsansätze erprobt, um herauszufinden, wie wir an diesem Ort mit dem angrenzenden Wald durch eine geschickte Ausrichtung und Gebäudeform optimale Bedingungen für die 500 Mitarbeiter schaffen können.

Nachdem die für den Ort ideale Geometrie entwickelt war, wurde auf Basis einer Ökobilanz über die Materialisierung der Kubatur entschieden. Stampflehm stellte sich unter diesen Gesichtspunkten als gute Lösung für eine Fassade mit einer geothermisch betriebenen Wandheizung heraus und wir konnten zusammen mit Martin Rauch und seinem Team das Projekt weiterentwickeln.

Nach der Fertigstellung wurde rasch deutlich, wie sehr die Nutzer dieses Gebäude aufgrund seines Umgangs mit dem Mikroklima und den verwendeten Materialien schätzen und sich gerne dort aufhalten, da sie spüren, dass dieses Haus für ihre Gesundheit zuträglich ist und ihr tägliches Leben bereichert.



# **Cradle to Cradle – Entwerfen und Konstruieren mit Holz: Erfahrungen, Erwartungen, Visionen**

Klaus Günter  
Partner und Partner Architekten  
Berlin, Deutschland





# **Cradle to Cradle – Entwerfen und Konstruieren mit Holz: Erfahrungen, Erwartungen, Visionen**

## **1. Einführung**

### **1.1. Der Status Quo**

Die Welt befindet sich in der größten Transformation der Menschheitsgeschichte: Ressourcenverknappung, Klimawandel und Bevölkerungswachstum mit einhergehender Urbanisierung, die Dynamisierung der Wirtschafts- und Lebensmodelle, Digitalisierung etc. sind hinlänglich bekannt und stellen die Bauindustrie vor immense Herausforderungen. Mit der Frage nach zukunftsfähigen Bauweisen rücken innovative Konzepte, die sowohl der zunehmenden Rohstoffverknappung, der notwendigen Energieeffizienz, als auch dem Flächenverbrauch gerecht werden, immer mehr in den Fokus gesellschaftlichen Interesses. Durch einen notwendigen Paradigmenwechsel in Stadtplanung und Architektur, muss der Gebäudesektor seiner gesellschaftlichen Verantwortung gerecht werden. Der Gebäudesektor bei diesen Fragen eine wesentliche Rolle spielt ist unstrittig, die Frage, ob zirkuläres Bauen dabei lediglich einen Trend darstellt, der bestenfalls eine Nische besetzen wird, erübrigt sich bei der genauen Betrachtung der Fakten:

Die Erde ist ein stofflich geschlossenes System. Gleichzeitig werden in den kommenden Jahren und Jahrzehnten weltweit neue Mega-Metropolregionen in einem Umfang entstehen, die in etwa der Weltbevölkerung des Jahres 1930 entsprechen. Der zusätzliche Ressourcenbedarf ist enorm und wird bei global vernetzten Rohstoffmärkten zu Verteilungsfragen führen und führt heute schon zu Preissteigerungen.

Auch die europäischen Städte werden weiterwachsen – im Wesentlichen aber umgebaut und angepasst werden müssen. Wie gehen wir mit den dort jetzt schon gebundenen Ressourcen um? Ein Übergang vom derzeitigen linearen Wirtschaften zu einem zirkulären System der Wieder- und Weiterverwertung wird unvermeidlich sein.

Allerdings ist es notwendig genau hinzuschauen: Die bereits verbauten Rohstoffe, die sich teilweise als «Urban Mining» wiedergewinnen lassen, eignen sich nur sehr eingeschränkt für eine echte Weiterverwertung im Sinne des zirkulären Bauens. Sie wurden nicht für eine spätere Wiederverwendung erzeugt und verbaut. Dies gilt vor allem für die Bauten der Nachkriegszeit. Viele Baustoffe lassen sich nicht sortenrein voneinander trennen, sind oftmals schadstoffbelastet oder enthalten unbekannte Inhaltsstoffe. Upcycling aus diesen Rohstoffen wird deshalb das Problem der Ressourcenknappheit lediglich verzögern können.

Früher oder später erreichen diese Baustoffe ihr End-of-Life und werden Abfall im klassischen Sinne sein. In der Regel ist schon die erste Wiederverwendung ein «Downcycling-Prozess», da die Baustoffe in ihrem «zweiten Leben» nicht auf demselben Qualitätsniveau wiederverwendet werden können.

Deshalb wird eine multiperspektivische Strategie notwendig sein, um Lösungen für diese Zukunftsfragen entwickeln zu können.

### **1.2. Strategien für zirkuläres Bauen**

Die Handlungsanforderungen für eine zirkuläre Zukunft liegen auf der Hand: Gebäude und Städte müssen zu Rohstofflagern transformiert werden, in denen sich alle Baustoffe in gleichbleibender Qualität in Kreisläufen führen lassen. Zudem wird den nachwachsenden Baustoffen eine wesentlich höhere Bedeutung zukommen, um die zusätzlichen Bedarfe umweltverträglich bereitstellen zu können. Unsere Energieversorgung muss zudem zu hundert Prozent regenerativ organisiert sein.

Um das zu erreichen brauchen wir aber auch eine andere Planungskultur und müssen das Verhältnis aller am Bau- und Planungsprozess beteiligter Akteure zueinander neu justieren. Das kann zum Beispiel in integralen Planungsprozessen gelingen.

Die Planung, der Bau und der Betrieb (inklusive des Rückbaus) sollte sich der Frage widmen, wie ganzheitlich zirkuläres Bauen heute möglich ist und wie im Idealfall «ressourcen-positiv» gebaut werden kann. Dazu gehört die größtmögliche Flexibilität der primären Gebäudestruktur, sowie eine Konstruktionsweise die einen zerstörungsfreien Rückbau aller Gebäudekomponenten ermöglicht.

Dies begünstigt eine Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen: Diese sollen an Ihrem «End of Life» wieder in die jeweiligen Kreisläufe rückführbar sein. Zudem müssen Fassaden- und Dachflächen auf Ihre Potentiale zur Energiegewinnung überprüft und aktiviert werden. Natürliche Potenziale und passive Maßnahmen, können zudem zu einer schlanke- ren haustechnischen Ausstattung beitragen und die Resilienz im Betrieb erhöhen.

Davon sind wir heute oftmals weit entfernt. Der überwiegende Teil der aktuell in Planung und Bau befindlichen Gebäude wird diesen Anforderungen nicht gerecht und schafft stattdessen «nicht-kreislauffähige Fakten» für mehrere Jahrzehnte.

### 1.3. Eine kreislauffähige Zukunft

Damit Architektur den oben beschriebenen Anforderungen gerecht werden kann, sind im Wesentlichen drei Voraussetzungen zu erfüllen:

#### – **Abfall wird zu einer Ressource**

Alle verwendeten stofflichen Ressourcen lassen sich entweder in den biologischen Kreislauf (Biosphäre) oder den technologischen Kreislauf (Technosphäre) zurückführen und auf gleichbleibendem Qualitätsniveau recyceln. Um dies zu gewährleisten, müssen rückbaubare Konstruktionen Grundlage jeder Planung werden. Verbundwerkstoffe sind zu vermeiden. Informationen zu Inhaltsstoffen der einzelnen Baustoffe müssen transparent verfügbar sein.

#### – **Regenerative Energien nutzen**

Die Energieversorgung muss zu 100% aus erneuerbaren Energien stammen. Die Verwendung von fossilen Energieträgern ist zu vermeiden. Da dies aus unterschiedlichen Gründen derzeit noch nicht immer möglich ist, sollte das Gebäude schon bei der Planung des Energiekonzeptes in Form einer «Roadmap», zukünftige Optimierungen berücksichtigen, damit sich diese später im laufenden Betrieb des Gebäudes einfach integrieren lassen. Dies ist vor dem Hintergrund relevant, dass wir es mit einer sehr schnellen technischen Entwicklung zu tun haben, sich aufgrund klimapolitischer Anpassungen in der Gesetzgebung, Förder- und Besteuerungsmodelle kurzfristig ändern werden und natürlich aufgrund der Tatsache, dass der Lebenszyklus haustechnischer Komponenten den der primären Gebäudestruktur deutlich unterschreitet.

#### – **Diversität fördern**

Gebäude sollten einen Beitrag zur Diversität leisten. Dies umfasst einerseits konzeptionelle Diversität, die sich in kontextbezogener Architektur und baukulturellen Bezügen zeigen kann. Darüber hinaus sollten Gebäude auch einen aktiven Beitrag zur Biodiversität leisten, anstatt diese durch Versiegelung und Verwendung von Baustoffen mit toxischen Inhaltsstoffen in Bauteilen zu vermindern (z.B. Fungizide in Wärmedämmverbundsystemen).

Zusätzlich ist es unerlässlich, dass wir beim Planen und Bauen lernen müssen, Effizienz von Effektivitätsstrategien zu unterscheiden. Selbstverständlich ist es wesentlich, Flächen, Energie und stoffliche Ressourcen effizienter zu nutzen. Gleichwohl sollte uns klar sein, dass in den vergangenen Jahrzehnten alle Effizienzstrategien nicht dazu geführt haben, die Bedarfe und damit der Verbrauch real zu senken. Vielmehr wurden durch eine erhöhte Effizienz, Ressourcen verfügbar, die direkt für die Steigerung des Konsums verwendet wurden. Der Ressourcenverbrauch sank in der Summe nicht und verschob lediglich den Zeitpunkt der jeweiligen Ressourcenknappheit auf einen Zeitpunkt in der Zukunft. Wir können davon

ausgehen, dass im Jahr 2050 – trotz zusätzlicher Effizienzstrategien – die Nachfrage nach Ressourcen, das vorhandene Angebot um ca. 8 Milliarden Tonnen übersteigen<sup>1</sup> und wird. In einem linearen Wirtschaftsmodell, das Ressourcen lediglich verbraucht und an deren End-of-Life als Müll unbrauchbar zurücklässt und damit vernichtet, wird das Angebot kontinuierlich geringer und die Nachfrage immer weniger bedient werden können.

Es ist deshalb wesentlich zu verstehen, dass wir zusätzlich zu einer Effizienzsteigerung, effektive Maßnahmen zum Erhalt von Ressourcen brauchen werden. Dies kann über die Entwicklung kreislauffähiger Wirtschaftsstrategien erfolgen und sollte beim Planen und Bauen die Grundlage aller konzeptionellen und entwurflichen Strategien sein.

#### 1.4. Die Ressourcenlager der Zukunft: Primäre und Sekundäre Baustoffe

Betrachten wir einerseits den prognostizierten Ressourcenbedarf bis zum Jahr 2050 und andererseits, die uns zur Verfügung stehenden Ressourcen, sind wir zwingend dazu angehalten, Strategien für ein intelligentes Stoffstrommanagement zu diskutieren, weiter zu entwickeln und in unsere Planungs- und Bauprozesse zu implementieren. Dabei stehen uns grundsätzlich zwei Ressourcenlager zur Verfügung:

- **Primäre Baustoffe:** Der überwiegende Teil unsere Baustoffe beziehen wir in großem Maßstab (vor allem seit Beginn der industriellen Revolution) als primäre Baustoffe aus der «Ökosphäre». Vor allem die nichterneuerbaren Rohstofflager, sind – je nach Baustoff- dabei schon unterschiedlich stark erschlossen und ausgebeutet. In global vernetzten Stoffstrommärkten sind deshalb, bei steigender Nachfrage, Preissteigerungen zu erwarten. Bei den primären Baustoffen werden den nachwachsenden Baustoffen deshalb eine immer größere Bedeutung zukommen. Der Baustoff Holz wird dabei eine zentrale Rolle spielen, da er sich für eine vielfältige Verwendung eignet und zudem große Potentiale in Bezug auf Vorfertigung, Transport und einer Wiederverwendung in gleichbleibender Qualität bietet. Wichtig bei Planung von Gebäuden ist es deshalb, den Baustoff im Hinblick auf die Wiederverwendung als zukünftiger Sekundärbaustoff zu verstehen. Einer entsprechenden Konzeption der Gebäudestruktur, sowie der Ausbildung der Fügungsdetails, sollte deshalb entsprechende Aufmerksamkeit gewidmet werden. Sowohl im Hinblick auf Ressourcenverfügbarkeit, als auch im Zusammenhang mit der dauerhaften Speicherung von CO<sub>2</sub>, sollten sich Holzbauteile möglichst dauerhaft wiederverwenden lassen. Erst in einem zweiten Schritt, sind Bauteile in Form einer Kaskadennutzung zu recyceln. Die thermische Verwertung (oder im Idealfall eine Kompostierung), sollte durch eine stoffliche Weiterverwendung, so lange wie möglich vermieden werden. Dadurch bleibt die Ressource lange verfügbar und entlastet die Nachfrage nach primären Baustoffen. Außerdem bleibt das im Holz gebundene CO<sub>2</sub> auf diese Weise langfristig der Atmosphäre entzogen.
- **Sekundäre Baustoffe** spielen bisher im Gebäudesektor noch keine signifikante Rolle. Mineralische Rezyklate, werden hauptsächlich in Downcycling-Prozessen als minderwertige Materialien z.B. im Straßenbau verwendet. Sie eignen sich nur sehr eingeschränkt für Upcycling. Im Recyclingbeton ersetzt das Rezyklat Zuschlagstoffe wie Sand und Kies, was grundsätzlich zu begrüßen ist, da es Landverbrauch und Verknappung dieser endlichen Rohstoffe entgegenwirkt, ist aber kein Ansatz im Sinne echter Kreislaufwirtschaft. Dennoch gilt es, den Fokus auch auf Sekundäre Baustoffe aus der «Anthroposphäre» zu richten. Die Materialien, die in unseren Städten und Gebäuden «gelagert» sind, stehen uns perspektivisch zur Weiterverwendung zur Verfügung. Auch wenn sie nicht im Sinne einer Wiederverwendung erzeugt und verbaut wurden, werden uns hier enorme Kontingente zur Verfügung stehen. Allein in Deutschland, wächst das anthropogene Lager jedes Jahr um eine Menge an, die der eines Kubus mit einer Kantenlänge von 800m entspricht<sup>2</sup>. Der Zugriff auf diese Materialien stellt uns allerdings

---

<sup>1</sup> Accenture Analyse

<sup>2</sup> Urban Mining – Ressourcenschonung im Anthropozän (Umwelt Bundes Amt 03/2017)

vor neue Herausforderungen: Wann und in welchem Umfang sind diese Materialien verfügbar? Wie kann die Qualität der Materialien eingeordnet werden und wie geht man mit Gewährleistungsfragen um? Wie lassen sich die Baustoffe in einen Planungsprozess integrieren?

Zur Erfassung, Qualifizierung und Quantifizierung der Rohstoffe stehen inzwischen digitale Plattformen wie Madaster (<https://madaster.de/>) und Concular (<https://concular.de/de/>) zur Verfügung. Diese digitalen Rohstoffmarktplätze ermöglichen die Einbeziehung sekundärer Materialien in aktuelle Planungsabläufe. Dabei werden die Baustoffe vorab schadstoffgeprüft und deren Qualität entsprechend abgesichert.

## 2. Forschung, Planung und Umsetzung für ein 1,5 Grad Ziel

### 2.1. Zillestrasse Berlin: erhalten, ergänzen, verbessern, eine klimapositive Stadterweiterung in Berlin, inklusiv des prämierten Kreislaufpavillonkonzeptes



Abbildung 1: 39M – Pavillon aus lokalen Sekundärbaustoffen

### 2.2. Zuberhaus Regensburg, Planen mit Sekundärbaustoffen

### 2.3. Büroneubau in Massivholzbauweise in Südtirol, Arbeiten in einem klimaaktiven Gebäude

### 2.4. Palazzo Tübingen, Holzstroh-Lehmbauweise in Gebäudeklasse 4, ein Forschungs- und Umsetzungsprojekt des Holz Innovation Programmes BW

### 2.5. Bauen mit lokal verarbeitetem Laubholz, Holzbauoffensive Ettlingen, ein regionales Holznutzungskonzept in Buche, ein Forschungs- und Umsetzungskonzept der Holzbauoffensive

### 2.6. Gründerzentrum Lune Delta, Bremerhaven

Das Gründerzentrum im Lune Delta in Bremerhaven, soll der Initialbau für ein Gewerbegebiet für die «Green Economy» werden. Als Anlaufstation für zukünftige Gewerbetreibende wird das Gebäude zudem Besuchergruppen zukunftsfähige Architektur erlebbar vermitteln. Auf ca. 6000m<sup>2</sup> Nutzfläche entstehen Büro- und Arbeitsflächen für Start-Ups

grüner Technologien. Aufgrund seiner Nutzung ist eine maximale Flexibilität in der Nutzung zu gewährleisten. Zukünftige Anpassungen an geänderte Mieterbedarfe sind in der Planung mit zu berücksichtigen. Das Projekt eignet sich deshalb hervorragend dazu, zirkuläre Gebäudeprinzipien unter Einbezug des Gebäudebetriebs zu entwickeln. Das Gebäude folgt sowohl in der Errichtung, als auch im Betrieb und einem späteren Rückbau zirkulären Prinzipien. Die Baustoffe sollen sich in die jeweiligen Kreisläufe zurückführen lassen. Die Nutzer werden in die Nutzung des Gebäudes aktiv mit einbezogen. Auf eine Lüftungsanlage wird verzichtet. Vielmehr nutzt das Gebäude über das zentrale Atrium gebäudestrukturelle Vorteile für eine natürliche Querlüftung und Nachtauskühlung. Ein «Commonspace» der der gemeinschaftlichen Nutzung dient und die Kommunikation zwischen den Nutzern fördert, verbindet die vier Geschosse räumlich und visuell.

Die Primäre Gebäudestruktur besteht aus einem Skelettbau in Holzbauweise mit einer Spannweite von 8,10m. Die quadratische Grundstruktur wird, sofern keine Schallschutztechnischen Belange entgegenstehen, mit Sekundärbaustoffen ausgefacht. Dazu prüfen wir im Planungsprozess die Verfügbarkeit von regionalen Baustoffen aus anstehenden Rückbauprojekten.

Das Gebäude wird mit nur einem Brandabschnitt versehen. Dadurch entfallen sämtliche Anforderungen und Kosten an Brandabschlusswände. Die Geschosse, lassen sich unter Berücksichtigung der Erreichbarkeit der beiden Fluchttreppenhäuser frei aufteilen und unkompliziert an zukünftige Nutzungsanforderungen anpassen.

Die geothermische Energieversorgung erfolgt über aktivierte Fundamentpfähle und wird ergänzt durch eine Photovoltaikanlage auf dem Dach. Überschüssiger Strom, wird in Salzwasser-Akkus gespeichert und erhöht die Eigennutzung signifikant.

Das Gebäudekonzept sieht zudem vor, die Innenausstattung über ein modulares Möbelsystem in einem Leasingverfahren flexibel an die Nutzerbedarfe anzupassen. So wird gewährleistet, dass auch der relativ kurze Lebenszyklus der Möblierung im Ressourcenmanagement Berücksichtigung findet und kein Müll entsteht.

Das Gebäude wird DNBG zertifiziert und strebt den Platin-Status an.

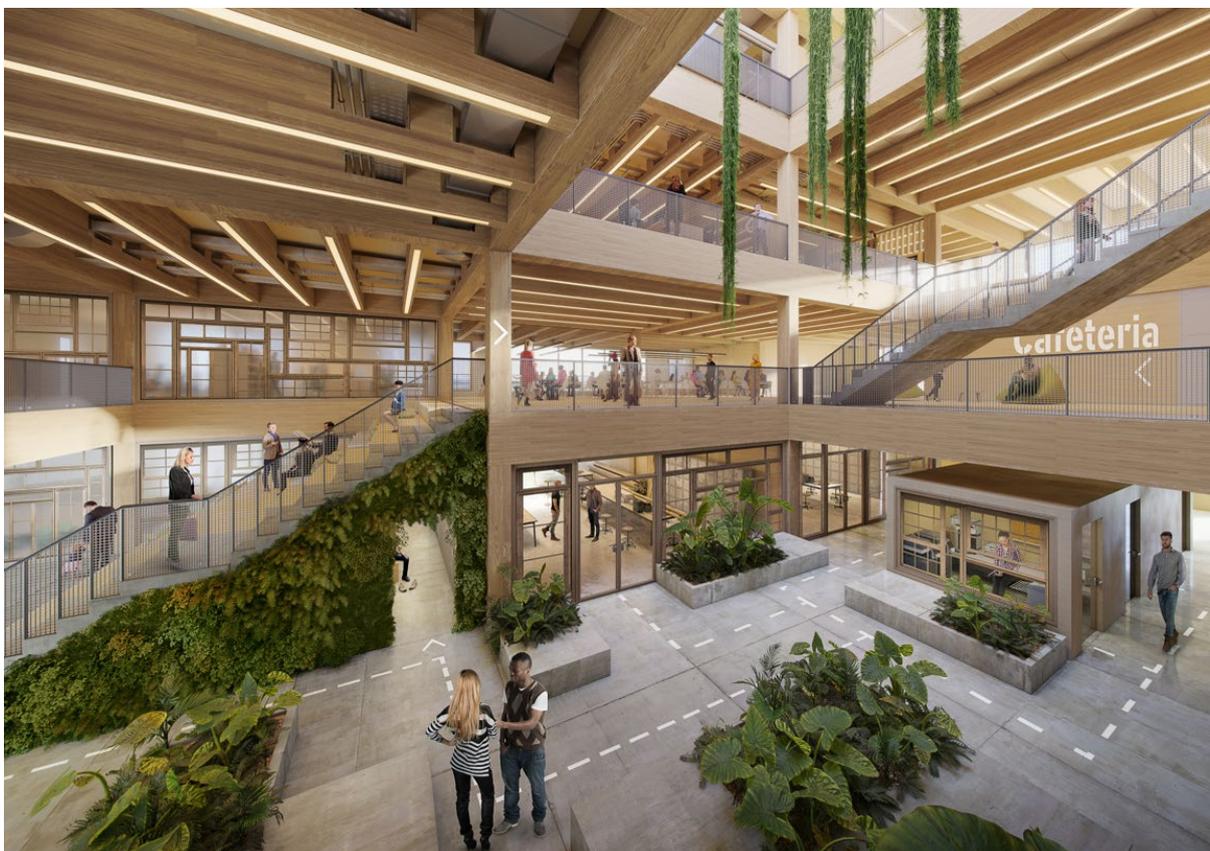


Abbildung 2: Gründerzentrum Lune Delta, Bremerhaven



## **Sponsoren und Aussteller**





binderholz Bürogebäude Baruth | D



Quartier Prinz-Eugen-Park, München | D



Wohnbau 'Haus auf Stelzen' Tillystraße, Regensburg | D



Ökologisches Wohnhaus, Zeist | NL

## Komplettanbieter für Massivholzprodukte und innovative Baulösungen

Mit unseren Massivholzprodukten und innovativen Baulösungen werden weltweit Gebäude unterschiedlichster Verwendung durch Kunden und Partnerbetriebe errichtet. Modernste CNC-Technologie ermöglicht jegliche Bearbeitung unserer massiven Holzbauprodukte. Die kompetente binderholz Technikabteilung unterstützt Sie bei der Erarbeitung verschiedenster Gebäudekonzepte und der technischen Planung. Für durchdachte Massivholzbau Lösungen beraten Sie unsere Ingenieure mit fundiertem Fachwissen.

Sägeprodukte | Holzbauprodukte: Brettsper Holz BBS, Brettschichholz, Massivholzplatten, Konstruktionsvollholz | DIY-Produkte | Pressspanpaletten und -klötze | Biobrennstoffe | Pferdestreu

**Weil wir es lieben, wenn  
Ihr Plan funktioniert.**

[www.egger.com/digitaleplanung](http://www.egger.com/digitaleplanung)



Kostensenkung, Zeitersparnis, Planungssicherheit und höhere Qualität – so lautet der Plan. Mit unseren geprüften und zertifizierten Konstruktionen ist das möglich. Einfach die bewährten Bauteile in den passenden digitalen Datenformaten herunterladen und in Ihr BIM- oder CAD-System integrieren. **Mit der EGGER Planungshilfe geht Ihr Plan auf.**

**MEHR AUS HOLZ.**

**E EGGER**

# Die Software für den Holzbau.

Durchgängige Holzbauplanung auf der Basis von AutoCAD® und Revit® vom Entwurf über die Maschine bis hin zur Montage – konsequent 3D und BIM-konform.

# Flexible offsite construction software.

Consistent timber construction planning based on AutoCAD® and Revit® from design to manufacturing to assembly – consistently 3D and BIM compliant.

Mit unseren innovativen Lösungen hsbDesign, hsbMake und hsbShare unterstützen wir seit mehr als 30 Jahren erfolgreich Unternehmen in den Bereichen Zimmerei & Holzbau, Holzrahmenbau, Fertighausbau, BSP, Ingenieurholzbau sowie Modulbau.

Mit hsbDesign erstellen Sie basierend auf einem Architekturmodell die umfassende Holzbauplanung und Arbeitsvorbereitung – durchgängig und ohne Informationsverlust. Das Produktionssystem (MES) hsbMake ermöglicht Ihnen einen digitalen und somit papierlosen Produktionsprozess. Aufträge werden automatisiert durch das individualisierte System gesteuert, jeder Arbeitsplatz erhält zur richtigen Zeit die richtigen Informationen im richtigen Format. Anschließend teilen Sie Ihre Projekte mit allen Projektbeteiligten über unsere cloud-basierte Lösung hsbShare.

With our innovative solutions, hsbDesign, hsbMake, and hsbShare, we have successfully supported companies in carpentry, timber construction, metal & timber frame construction, prefabricated house construction, CLT, timber engineering and modular construction for 30+ years.

With hsbDesign, you can create comprehensive timber construction planning and work preparation based on an architectural model – consistently and without loss of information. The manufacturing execution system (MES) hsbMake enables you to create a digital and thus paperless production process. The individualized system automatically controls orders; each workstation receives the right information in the right format at the right time. You then share your projects with all project participants via our cloud-based solution, hsbShare.



# ISOCELL

WWW.ISOCELL.COM

ISOCELL GmbH & Co KG  
 Gewerbestraße 9  
 5202 Neumarkt am Wallersee  
 Tel: +43 6216 4108-0 | office@isocell.at

## TIMBER Protect SK Bauzeitabdichtung

ISOCELL Produkte schützen bei Wetterkapriolen. Bauzeitschutz, Transportschutz und Luftdichtheitsschicht in einem Produkt vereint. Vollflächig klebend, rutschfest durch Anti-Slip-Ausrüstung, robust und wasserdicht durch den doppelten Funktionsfilm. Der variable  $sd$ -Wert garantiert optimale Rücktrocknung.



Doppelter Funktionsfilm  
Witterungsschutz



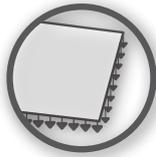
Optimierte  
Rücktrocknung



Sehr gute Haftung  
auf sich selbst



Rutschticher durch  
Anti-Slip Beschichtung



Vollflächig  
selbstklebend

**VERBESSERTE  
TRANSPARENZ**

**CE**  
EN 13984

**ÉMISSIONS DANS L'AIR INTÉRIEUR**  
**A+**  
A+ A B C

Emissionsgeprüft entsprechend  
QNG-Kriterien



WWW.ISOCELL.COM

fermacell® Gipsfaserplatte

# Die Basis für effizienten, nachhaltigen Holzbau

fermacell® Gipsfaserplatten sind CO<sub>2</sub>-Speicher\*.

Profitieren Sie von kurzen Bauzeiten dank schlanker Wandkonstruktionen und hoher Vorfertigungsmöglichkeiten, und setzen Sie mit fermacell® Standards für effizientes, nachhaltiges Bauen.



**CO<sub>2</sub>**  
**SPEICHER**

FERMACELL® GIPSFASERPLATTE

# Beste Schutz

# vor Bauschäden und Schimmel

**NEU SOLITEX® ADHERO VISTO**

Transparente Luftdichtungs- und Witterungsschutzbahn

Markierungen auf der Decke bleiben sichtbar

Vollflächig wasserfester Kleber

Frei bewitterbar und rutschfest

Komplettes Bauzeitenschutz-Konzept



**NEU**

Neues Planungshandbuch kostenfrei  
anfordern unter [proclima.de](http://proclima.de)



# Fokus

**HASSLACHER**  
**NORICA TIMBER**

From **wood** to **wonders**.

# Qualität & Innovation

HASSLACHER Gruppe  
T +43 4769 22 49-0  
info@hasslacher.com

HBLA  
Pitzelstätten  
Klagenfurt | AT



[hasslacher.com](https://www.hasslacher.com)

STILLE MIT  
ZERTIFIZIERUNG  
NACH **ETA-23/0061**.

ALS ERSTE,  
ABER IN ERSTER  
LINIE FÜR SIE.



**Entwerfen Sie Gebäude mit hoher Schalldämmleistung in völliger Sicherheit.**

Wählen Sie die widerstandsfähigen Schalldämmbänder XYLOFON mit Zertifizierung nach ETA. So haben Sie nicht nur einen Vorteil gegenüber Ihren Mitbewerbern, sondern auch von einem Dritten garantierte Qualität.

Laden Sie die technischen Anleitungen für XYLOFON in digitaler Form herunter und erfahren Sie alle weiteren Einzelheiten auf [rothoblaas.de/produkte/schalldammung](https://rothoblaas.de/produkte/schalldammung)



 **rothoblaas**

Solutions for Building Technology





Gut für das Weltklima. Gut für das Raumklima.

## Ökologisch sanieren mit STEICO

STEICO Holzfaser-Dämmstoffe und Konstruktionsprodukte verwandeln Altbauten in Kohlenstoffsinken – und tragen gleichzeitig zu einem wohngesunden Raumklima bei.

Mit einer **CO<sub>2</sub>-Speicherung von bis zu 420 kg/m<sup>3</sup>** nehmen STEICO Dämmstoffe eine führende Position unter den Naturdämmstoffen ein.

Darüber hinaus überzeugen STEICO Dämmstoffe gerade bei Sanierungen durch ihr breites Vorteilsspektrum: hervorragende Wärmedämmung kombiniert mit exzellentem Hitzeschutz im Sommer; Witterungsschutz und Diffusionsoffenheit zum Schutz der Konstruktion sowie ihre Feuchte ausgleichenden Eigenschaften machen einen spürbaren Unterschied.

### Gut zu wissen

Laut Bauprodukte-Datenbank baubook.at leisten Holzfaser-Dämmstoffe einen Beitrag, die Erderwärmung zu reduzieren – wohingegen viele konventionelle Dämmstoffe zur Erderwärmung beitragen.



$\lambda_D$  0,036

Ökologische  
Holzfaser-Dämmstoffe



Innovative Holztragwerke:  
Stegträger + Furnierschichtholz

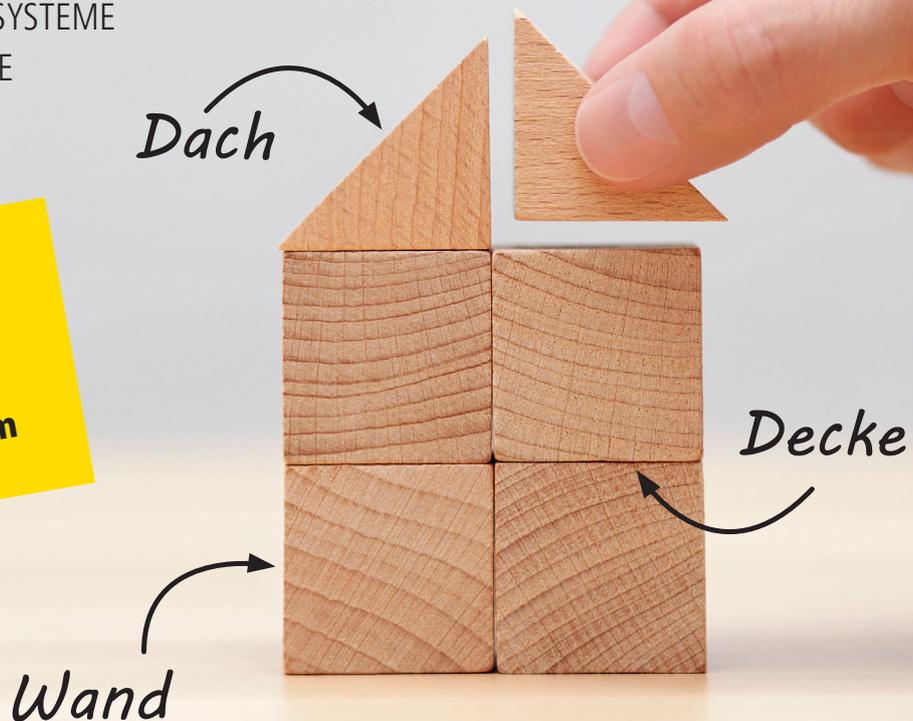
**STEICO**  
Das Naturbausystem

# HOLZ FÜR'S GANZE HAUS

## IHR KOMPLETT-LIEFERANT FÜR DIE GEBÄUDEHÜLLE

- KONSTRUKTIVE LEIMHÖLZER
- DECKEN-, DACH-, WANDSYSTEME
- HOLZFASER-DÄMMSTOFFE

**NEU:**  
**CLT – WAND**  
**CLT – DECKE**  
Höhe/Breite bis 3,50 m  
Länge bis 16 m



NEU

Der neue Glattziegel für  
flach geneigte Dächer ab 10°!

## Ergoldsbacher Level RS®

Der Ergoldsbacher Level RS® ist bereits der dritte Spezialist für flach geneigte Dächer. Auffallend ist seine klare, kantige Form mit geradem Abschluss. Bedeutend ist seine tiefe Ringverfaltung mit 3-fachem Kopf- und Seitenfalz. Durch diese formtechnische Besonderheit wird das Wasser auf der Ziegeloberfläche perfekt abgeleitet. So bleibt selbst bei flachen Dachneigungen (im Halbverband verlegt: Regeldachneigung 16°, Mindestdachneigung 10°) die Unterkonstruktion trocken. Der neue Ergoldsbacher Level RS® ist die echte Lösung: ein regensicherer Dachziegel, der kein wasserdichtes Unterdach braucht!



**KLH**<sup>®</sup>



**WIR FREUEN  
UNS AUF  
IHREN BESUCH  
STAND 15**

Unser Ansprechpartner für Deutschland:

**ABA HOLZ**  
**van Kempen GmbH**

**ABA HOLZ VAN KEMPEN GMBH**  
Streitheimer Straße 22 | 86477 Adelsried  
info@aba-holz.de | www.aba-holz.de | www.klh.at

- **PIONIER IN DER HERSTELLUNG VON BRETTSPERRHOLZ**
- **MEHR ALS ZWEI JAHRZEHNTE ERFAHRUNG**
- **DAS ORIGINAL MIT MEHR ALS 38 000 PROJEKTEN WELTWEIT**
- **INTERNATIONALES PROJEKTMANAGEMENT**
- **LÖSUNGSORIENTIERTER PROJEKTPARTNER**
- **VON STATISCHER VORBEMESSUNG BIS ZUR WERKPLANUNG**

**KLH MASSIVHOLZ GMBH** | 8842 Teufenbach-Katsch | Gewerbestraße 4  
Tel +43 (0)3588 8835 | office@klh.at | www.klh.at



## DAS BESTE FÜR DACH UND WAND



FÜR EIN KOMFORTABLES, DAUERHAFTES  
UND NACHHALTIGES GEBÄUDE





2.770 vorgefertigte Holzbaulemente lassen das Projekt emporwachsen.

# Roots, Deutschlands höchstes Holzhochhaus

Holz ist der einzige Baustoff, mit dem sich Hochbauten in der erforderlichen Größe errichten und dabei die durch den Bau verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen senken lassen – im Neubau, bei energetischen Sanierungen, Aufstockungen und bei der urbanen Nachverdichtung. Das Holzhochhaus „Roots“ in der Hamburger HafenCity ist mit seiner Gesamthöhe von 72 Metern ein herausragendes Beispiel für den wegweisenden Ingenieurholzbau von Rubner.



„Roots“ in der Hamburger HafenCity – Deutschlands höchstes Holzhochhaus.  
72 m Gesamthöhe, 20 Nutzgeschosse, davon 16 in Holzbauweise.



NEU

# Wetguard: Transparente Feuchteschutz- Membrane von SIGA

**SIGA Wetguard ist die neue vollflächig selbstklebende Feuchteschutz-Membrane und kann bereits werkseitig, in der Vorfertigung, oder auf der Baustelle montiert werden.**

SIGA Wetguard 200 SA schützt vorgefertigte Holzelemente zuverlässig vor Feuchtigkeit und Beschädigungen während Lagerung, Transport, Montage und der Bauphase und verhindert damit Feuchteschäden wie Verfärbungen im Sichtbereich oder Spannungen und Massungenauigkeiten durch Aufquellen der Elemente.

## Über Wetguard

SIGA Wetguard ist diffusionsfähig und mit einer rutschfesten und wasserdichten Spezialbeschichtung ausgerüstet. Das robuste Vlies schützt vor mechanischer Beschädigung und der vollflächig aufgebrauchte SIGA-Hochleistungslebstoff sorgt für sichere Haftung auf Holzoberflächen. Mit der transparenten Optik von SIGA Wetguard bleiben nicht nur

im Werk angebrachte Markierungen oder Durchdringungen sichtbar, sondern auch die charakteristische Oberflächenstruktur des Werkstoffes Holz.

Die Folie ist robust gegenüber mechanischer Belastung und auch bei Nässe rutschfest. Der formstabile Träger ermöglicht einfaches, schnelles und faltenfreies Verlegen und ist sofort dicht verklebt. SIGA Wetguard ist in drei Produktdimensionen (1560mm / 780mm / 390mm x 50m) erhältlich. Für spezielle Anwendungen können nach Kundenwunsch verschiedene Dimensionen und Ausführungen hergestellt werden.

SIGA Wetguard sorgt für maximale Sicherheit über den gesamten Bauablauf und erspart dem Handwerker zusätzliche Arbeitsschritte und Zeit. Damit ist sie die ideale Abdichtung während der Bauzeit, ob für einfache oder herausfordernde Holzbauprojekte.



## Qualität und Beratung ohne Gleichen

Unter der Marke Simpson Strong-Tie® produzieren und vermarkten wir innovative Verbinder für Holzkonstruktionen, Kammnägeln und Schrauben mit dem Ziel, Holzverbindungen für den konstruktiven Holzbau sicherer, stabiler und effizienter zu machen.

Weitere Informationen unter [strongtie.de](http://strongtie.de) oder rufen Sie uns an +49 6032 8680-0.





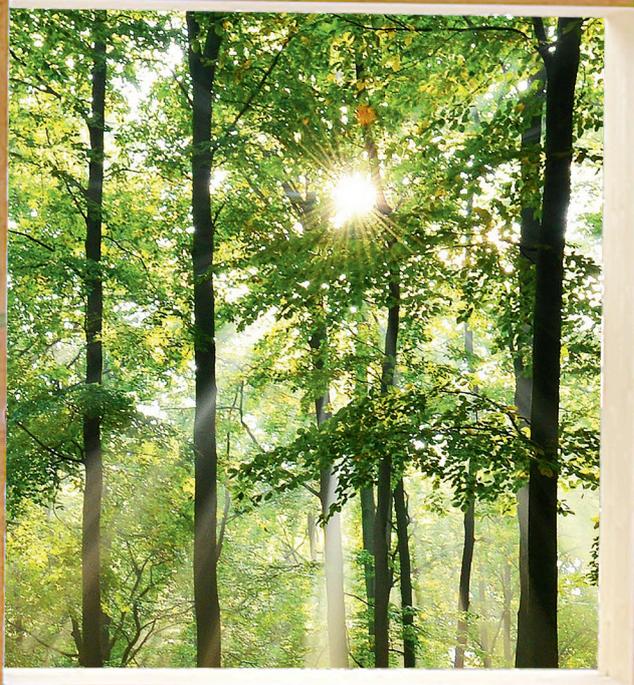
West Fraser

# ZERO IST HERO



**SterlingOSB® Zero®**

Mit Sicherheit umweltfreundlich bauen



Besuchen  
Sie uns an:

**Stand  
11**



- Nachhaltig
- Formaldehydfrei verleimt
- Niedrige VOC-Emissionen
- Große Formatvielfalt – bis 5 m Länge
- Zuverlässige Lieferlogistik



BLAUER ENGEL zertifiziert [www.blauer-engel.de/uz76](http://www.blauer-engel.de/uz76):  
Alle FSC® (FSC C-012533).  
Alle PEFC (PEFC/16-37-1593).

[www.Westfraser.com](http://www.Westfraser.com) | [www.SterlingOSB.de](http://www.SterlingOSB.de)



[www.blauer-engel.de/uz76](http://www.blauer-engel.de/uz76)

 [westfraser\\_d.a.ch](https://www.instagram.com/westfraser_d.a.ch)

Tel: 00800 OSBANRUF\*(00800 67226783) kostenfrei D/A/CH



# DÄMMSYSTEME AUS DER OBERPFALZ



DämmRaum

Gesund leben.  
Gesund bauen.



Effektive Lösungen für Dach, Fassade und Boden.

# DämmRaum clever schaffen.

Mehr Raum für Effizienz mit unseren  
innovativen Unterkonstruktionen.

[www.daemmraum.de](http://www.daemmraum.de)



B+M HolzWelt GmbH

Ludwig-Winter-Straße 1 · 77767 Appenweier

T +49(0)7805 9685-0 · [www.bm-holzwelt.de](http://www.bm-holzwelt.de)

# cadwork<sup>®</sup>

## 3D CAD/CAM

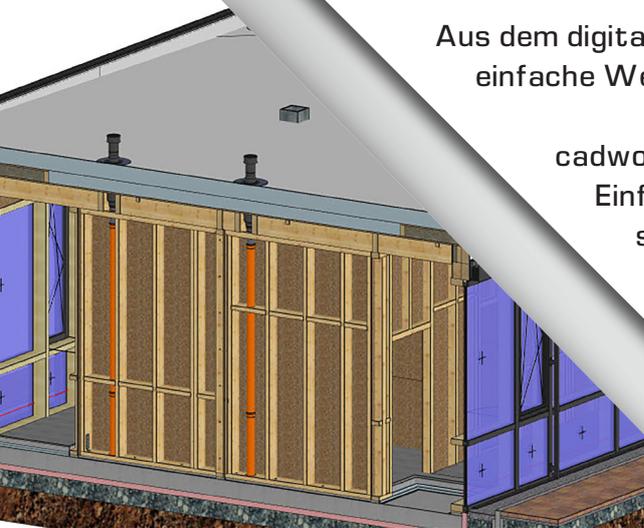
### Die 3D-CAD/CAM Referenz im Holzbau

Unter den Konstruktionsprogrammen ist cadwork die treibende Kraft, wenn es um die Entwicklung und Unterstützung neuester Maschinentechнологien geht.

Aus dem digitalen Gebäudemodell werden Produktionsdaten auf einzigartig einfache Weise abgeleitet. Aufwändige Stammdaten sind unnötig.

cadwork ist leicht zu erlernen - schon nach zwei Tagen Einführungsschulung können Sie mit ihren eigenen Projekten starten.

cadwork hat eine konkurrenzlos einfache Modulstruktur und ist kostengünstig - selbst mit dem Holzbaupaket können Sie jede Konstruktion und jedes Projekt schnell und ohne Einschränkungen erstellen, Listen und Pläne ausgeben.

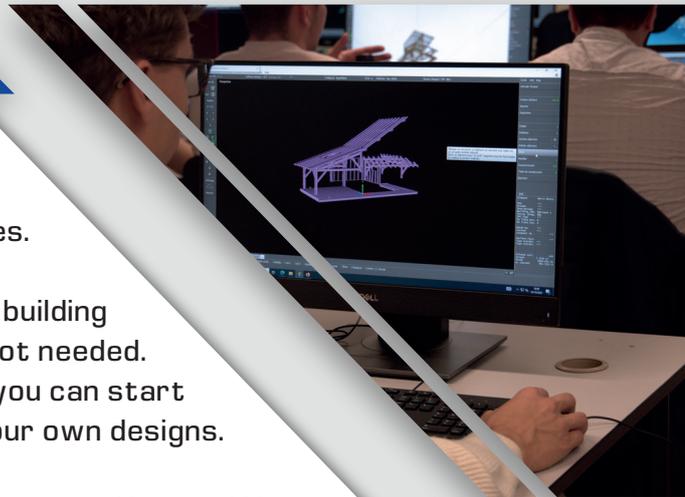


### 3D CAD/CAM Technology Leader

cadwork is a driving force among design software when it comes to developing and supporting the latest machine technologies.

Part data is uniquely and easily derived from the digital building model. Complex master data is not needed.  
cadwork is easy to learn. After two days of initial training, you can start working on your own designs.

cadwork has an unrivalled simple modular structure and is cost efficient. With the ProBuild package you can quickly design any project, and output lists and shop drawings, without limits.



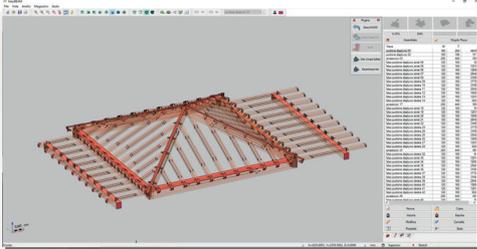
Folgen Sie uns in den sozialen Netzwerken!  
Follow us on social networks !

# WOODWORKING SOFTWARE SOLUTIONS



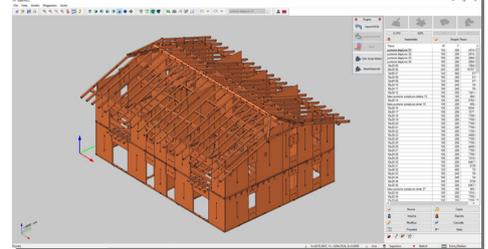
## EasyBEAM

5 axis CAD/CAM software solution for the production of straight and curved beams.



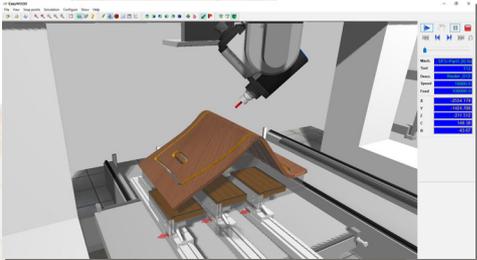
## EasyWALL

5 axis CAD/CAM software solution for panel production of any size.



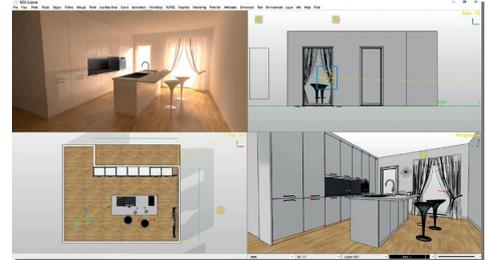
## EasyWOOD

5 axis CAD/CAM software solution for woodworking using CNC.



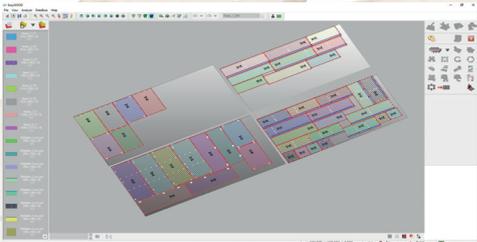
## Cabinet 3D

Software solution for parametric furniture design and interior furnishings.



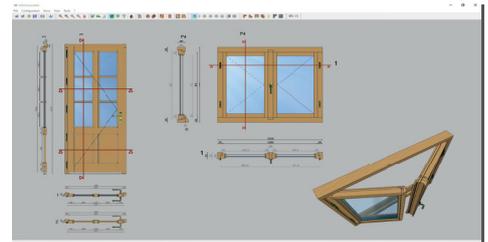
## Nesting

Easily optimize nesting projects by reducing material waste and processing times.



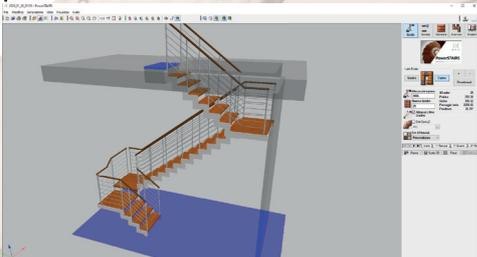
## PowerWIN

Software solution for parametric design and production of windows and doors.



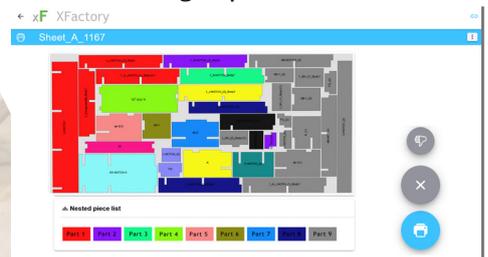
## PowerSTAIRS

Software solution for parametric design and production of standard and custom stairs.



## XFactory

Web-based solution for the management and monitoring of production facilities.



# Betonhohldecke trifft Holzwand

## Mehrgeschossiger Hybridbau – schnell, flexibel, wirtschaftlich

Mit der Hybridbauweise entstehen Gebäude mit optimaler ökologischer und bauphysikalischer Qualität, die die Stärken der Baustoffe Beton und Holz kombiniert – ideal geeignet für hohe Anforderungen und größere Holzgebäude.

Dennert hat dazu die bewährte DX-Decke entscheidend weiterentwickelt. Besonders bei Schallschutz und Schwingungsverhalten sind bei Holzbalkendecken bekanntlich nur mit sehr hohem Aufwand zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen. Gegenüber diesen herkömmlichen Decken verfügt die bahnbrechende DX-Betonfertigdecke nicht nur über einen ausgezeichneten Schallschutz, sondern auch über eine wesentlich bessere Aufnahme von Einzellasten, größere Spannweiten und einen höheren Brandschutz.

Die in die Decke integrierten Hohlräume sorgen für die besondere Leichtigkeit und Holzbau-Kompatibilität der Geschossdecken. Sie können außerdem bei Bedarf optimal als Versorgungs- und Kabelkanäle verwendet werden, ohne die Statik der Decke zu beeinträchtigen.

### Individuell vorproduziert, blitzschnell montiert

Jedes DX-Deckenelement wird individuell und präzise, exakt nach Plan, im Werk gefertigt und just-in-time an die Baustelle geliefert und in kurzer Zeit montiert. Dabei werden alle Besonderheiten – wie beispielsweise integrierte Stürze, Rundungen, Durchbrüche für Versorgungsleitungen,

passgenaue Auflagen für Treppen u. a. – bereits im Werk in die Deckenplatten integriert. Ein speziell entwickeltes Verschlussystem verspannt die einzelnen DX-Deckenplatten miteinander.

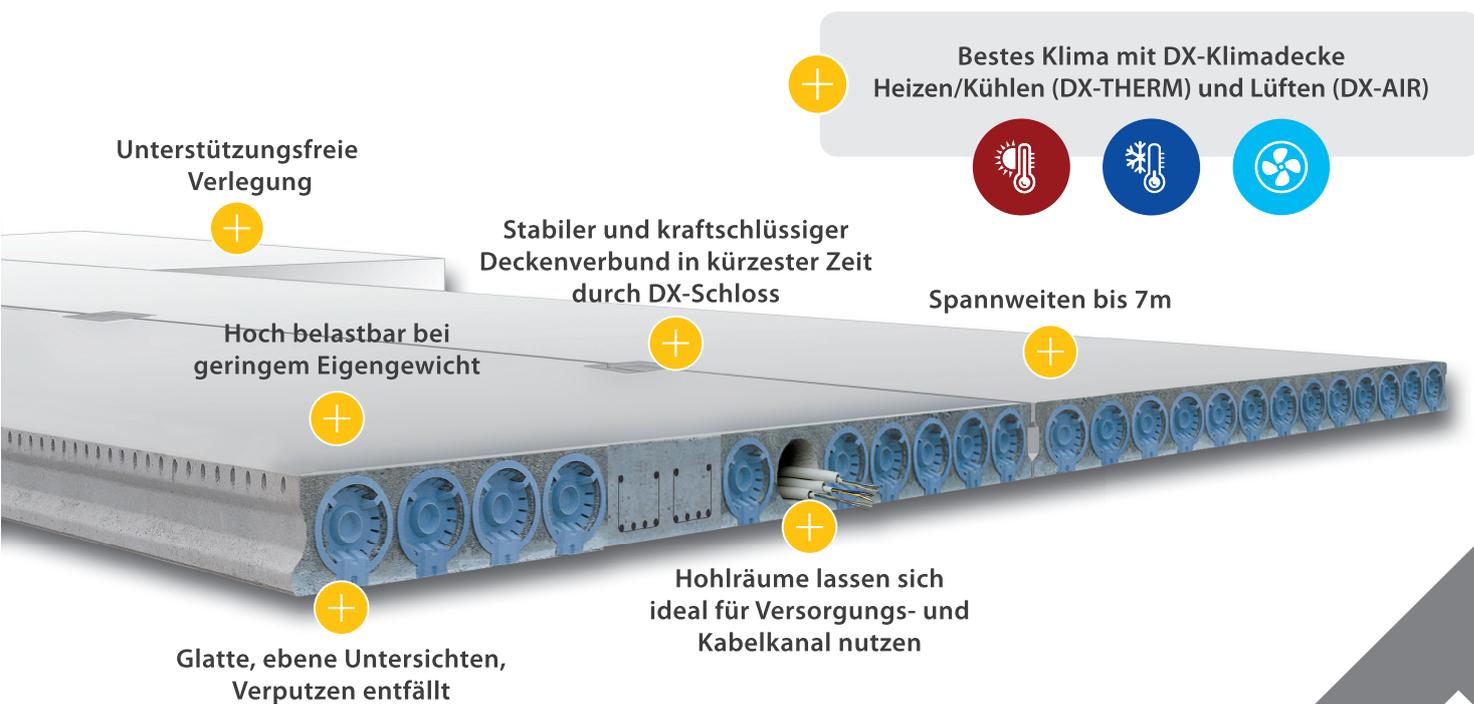
So entsteht in kürzester Zeit ein extrem stabiler und kraftschlüssiger Deckenverbund. Die Decke ist sofort belastbar und begebar. Zudem erfüllt die innovative DX-Decke alle Anforderungen an Feuerschutz, Belastbarkeit und Luft- und Trittschalldämmung mit Bestwerten.

### Multifunktionales Deckenkonzept

Die DX-Decken gibt es auch als energieeffiziente, behagliche Raumklimadecken mit integrierter Flächenheizung bzw. -kühlung (DX-THERM). Die wohlige Wärme wird in Form von Wärmestrahlungswellen gleichmäßig in jeden Winkel des Raumes geführt. Die Heizschlangen werden bereits im Werk in den Deckenspiegel der Fertigdecke eingegossen und auf der Baustelle mit dem Heizkreislauf verbunden.

Mit einer reversiblen Wärmepumpe wird im Sommer aus der DX-Klimadecke eine flächendeckende Raumkühlung, ohne lästige Geräusche oder Zugerscheinungen.

Eine weitere Option ist die wahlweise Ausstattung für den schnellen und wirtschaftlichen Einbau einer kontrollierten Be- und Entlüftungsanlage (DX-AIR).



# BTLx – VOLLAUTOMATISCHE MASCHINENANBINDUNG



MIT DER BTLx SCHNITTSTELLE VON NC-HOPS VOLLAUTOMATISIERT VERARBEITEN.  
FÜR ALLE GÄNGIGEN CAD HOLZBAU-PROGRAMME.

## BTLx-Import für NC-HOPS®

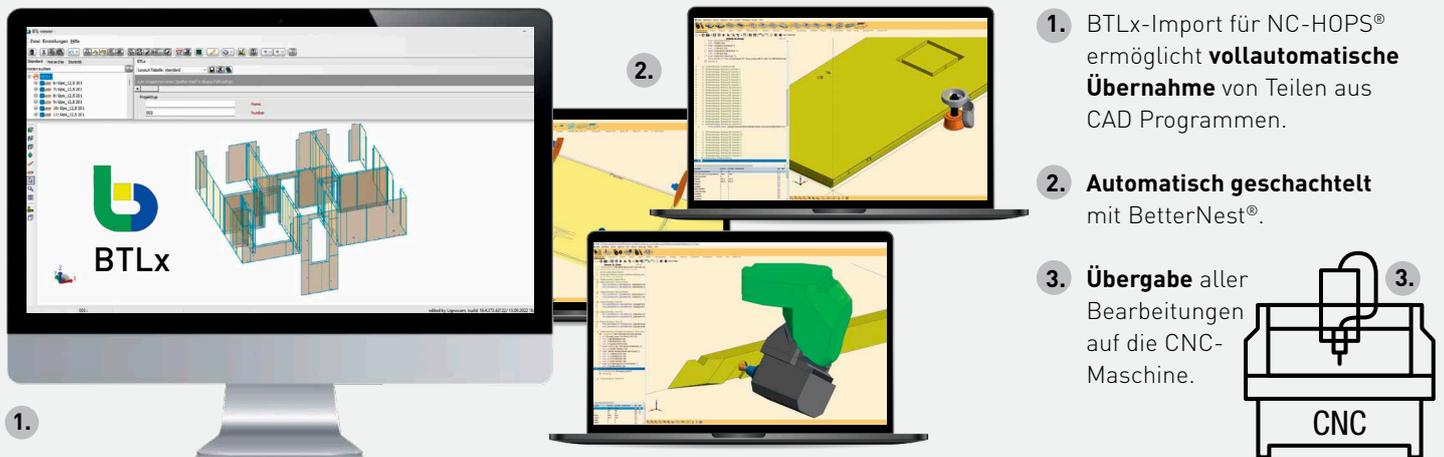
Alle gängigen Holzbau CAD-Programme können heute das weit verbreitete und **standardisierte Ausgabeformat BTLx ausgeben**.

Mit der NC-Hops/BTLx Schnittstelle von direkt cnc-systeme können sie die BTLx Daten **vollautomatisch aus dem CAD über das NC-Hops an beliebige Maschinen transferieren**. Die BTLx Schnittstelle analysiert automatisch die BTLx Dateien und **importiert diese so intelligent**, damit die Daten danach in der gewohnten **NC-HOPS-Welt mit all ihren Möglichkeiten zur Verfügung stehen**. Die automatisch vergebenen Bearbeitungen können so **direkt z. B. im Block in das Nesting-Modul betterNEST importiert werden**. Natürlich ist bei Bedarf jederzeit – wenn gewünscht –

eine manuelle Anpassung möglich. Aus betterNEST kommen die Daten wieder direkt an die Maschine. Sie können ganze Bauvorhaben mit unterschiedlichen Materialien importieren, sortieren und an die beliebige/n Maschine/n übergeben.

Die Bearbeitungen werden **automatisch materialspezifisch ausgegeben**. Dabei stellt NC-Hops Zusatzanforderungen wie z. B. **ausrissfreie Qualität zur Verfügung**. Der automatische Import eignet sich besonders für Plattenabbund, Beplankungen oder CLT. Aber auch Stabbauteile gehen vollautomatisch in die Verarbeitung. Des Weiteren können ebenso beliebige andere Bauteile wie z. B. Treppen, Türen, Möbel oder auch Fenster durch die BTLx Schnittstelle von NC-Hops laufen.

## Wie BTLx den Workflow vereinfacht



## Unsere Kunden verarbeiten

- CLT/BSP/BSH
- OSB, Spanplatten, MDF
- Zementgebundene Platten
- Gipskarton
- Dämmstoffe
- Putzträgerplatten
- Massivholz und Dreischichtplatten
- Alu bzw. Di-Bond Platten
- Fassadenplatten/HPL

## Unsere Kunden fertigen vollautomatisch mit BTLx-Daten

- Beplankungen bzw. Plattenabbund/Platten-Nesting
- CLT/BSP/BSH Abbund
- Fassadenplatten
- Möbel
- Türen
- Treppen
- Fenster
- Einzelplatten und ausrissfreier Stababbund
- Wintergärten uvm. ...



ECO-TIMBER GmbH & Co. KG  
Franz-Kühne-Str. 6  
37308 Heilbad Heiligenstadt

Tel.: +49 (0) 3606 502310-0  
Mail: [info@eco-timber.de](mailto:info@eco-timber.de)

ECO-TIMBER ist eins der modernsten Holzbau- und Abbundzentren in Deutschland, mit umfangreichen Kapazitäten und vor allem einem professionellen Serviceangebot. Alles aus einer Hand, auch im Holzbau! Die Kombination des hergebrachten Wissens mit modernster Technik zeichnet den innovativen Holzbau aus. Holz steht für Umweltverträglichkeit, niedrige Energie-Bilanzen, Langlebigkeit, Flexibilität und kürzere Bauzeiten. Wir freuen uns auf ein Kennenlernen und die erfolgreiche Zusammenarbeit



**Abbund  
in drei Qualitäten**



**Holzelementbau  
zertifiziert und individuell**



**BauBuche  
Abbund und Beschichtung**



Fixpod durfte vor kurzer Zeit einen Innovationspreis in Empfang nehmen. Unser Verbindungselement für Installations-Rohrverbindungen im Holzbau hat einen Preis gewonnen.

Wie einfach Ihr zukünftig ca. 50% Kosten einsparen könnt, seht Ihr unter [www.fixpod.ch](http://www.fixpod.ch)



Gerne stehen wir euch für weitere Auskünfte und Informationen unter [info@fixpod.ch](mailto:info@fixpod.ch) oder +41 76 295 19 99 zur Verfügung.

The logo for GiB, consisting of the letters 'GiB' in a white, bold, sans-serif font on a dark blue square background.

IngenieurGesellschaft  
für innovative  
Bautechnologie mbH



# Innovative Bautechnologie – made in Germany

Mit über 80 Technikern und Ingenieuren erstellen wir für den Neubau oder die Sanierung von Wohn- bzw. Nichtwohngebäuden Schallschutz-, Brandschutz- und Wärmeschutz-nachweise sowie Energieausweise. In unseren hauseigenen Prüfständen überprüfen wir die Leistungseigenschaften der Bauteile in Originalgröße und überwachen die Bauausführung vor Ort.

**Wir sind Ihr Partner für:**

- Schallschutz und Akustik
- Brand- und Rauchschutz
- Energieberater
- Tragwerksplanung
- Bauproduktentwicklung
- Bauklimatik

[www.gib-mbh.com](http://www.gib-mbh.com)

Besuchen Sie uns auf LinkedIn 



## ROLLADEN- & SONNENSCHUTZSYSTEME

**Schutz und Komfort rund ums Gebäude sind unser Thema seit 1898: Mit Produkten für Verdunklung und Schutz am Fenster, Sonnen- und Wetterschutz im Freien, mit Torsystemen und umfassendem Service sind wir idealer Partner und Ausrüster für den Holzbau.**

### **Vom Rollladen über die Markise bis zum Tor**

Wir bei Günthner verstehen uns aus Tradition auf Holzbau: In unsere Produkte fließen handwerkliche Erfahrungen ein, mit denen wir ständig unser Portfolio weiter perfektionieren. Deshalb bieten wir unsere wichtigste Produktkategorie, die Kastensysteme der FLEXI FIX-Reihe, bewusst in Varianten an, die ideal für die Integration im Holzbau geeignet sind. Zugleich eröffnen wir durch die individuelle Dimensionierbarkeit dieser Systeme bei einem hervorragenden Dämmwert exzellente Voraussetzungen für die Nutzung bei anspruchsvollen Projekten.

Individualisierbare Rollladen-Panzer, Raffstoren oder Textilscreens in frei wählbaren Abmessungen, in passende Schienensysteme integrierbare Absturzsicherung aus Sicherheitsglas bei bodentiefen Fenstern und noch vieles mehr haben Günthner-Sonnenschutzsysteme zu bieten. Hinzu kommen noch variable Schiebe- und Klappladen-Systeme. Zudem bieten wir Sonnen- und Insektenschutz-Systeme, die auch für die Innenanbringung geeignet sind – all dies natürlich ebenfalls automatisierbar und ins Smart Home integrierbar.

Die Wetter- und Sonnenschutz-Gestaltung für Terrassen und Balkone zählt zu den weiteren Feldern, die Günthner rund ums Haus zu bieten hat. Und die Günthner-Torsysteme als Kipp-, Roll- oder Sektionaltore sorgen für Sicherheit für bewegliche Güter in Garagen oder befahrbaren Hallen.

Die besondere Nähe unseres Portfolios zu Kundenwünschen erklärt sich aus unserem Service-denken: So sind wir nicht nur leistungsstarker Lieferant der vorgenannten Produkte und fertigen auch für bekannte andere Marktteilnehmer als OEM-Lieferant. Günthner ist auch als Dienstleister von der Beratung und Planung über die Montage vor Ort bis hin zum Wartungs- und Reparaturservice aktiv und bleibt so dicht dran an den Wünschen der Endabnehmer und Nutzer der unterschiedlichen Produkte.

**NEUHEITEN!!!**

woodframe  
**FLEXI**



Ein Unternehmen der ante-Gruppe

## HOLZBAUSYSTEME



- **Dach-/Wand und Deckenkonstruktionen aus CLT**
- **Modernste CNC-Maschinen und Fertigungsprozesse**
- **Beratung und Unterstützung für Architekten, Planer und Holzbaubetriebe bei individuellen Projekte**



Als Hersteller von Brettsperrholz bietet HBS großformatige Massivholzelemente welche als Wand-, Decken- und Dachbauteile eingesetzt werden können.

Diese Bauteile sind standardmäßig in den Abmessungen von 3,50 m x 16,00 m herstellbar, Überlängen sind auf Anfrage möglich. Die Bauteilstärken liegen zwischen 60 mm und 280 mm, i.d.R in 20 mm Schritten. Sonderstärken sind ebenfalls auf Anfrage möglich.



Der montagefertige Zuschnitt der Bauteile erfolgt entsprechend der Kundenvorgaben auf modernen Abbund-CNC-Maschinen.

Neben der Herstellung von Brettsperrholz unterstützt HBS auch bei der Planung von Massivholzgebäuden.

Für die statische Bemessung steht eine Bemessungssoftware zur Verfügung und Fragen zur Konstruktion oder Bauphysik werden von einem kompetenten Team beantwortet.

**HBS Berga GmbH & Co. KG**  
Ahornweg 1  
06536 Berga - Südharz

**hbs-berga.de**  
Tel: +49 34651 451-0  
E-Mail: [info@hbs-berga.de](mailto:info@hbs-berga.de)

Ist die künstliche Beleuchtung

unverträglich geworden?

Lignum Biancolegno®

bietet die Lösung!

**LIGNUM BIANCOLEGNO®**

WEISSE HOLZLASUR AUF WASSERBASIS

*Erhellen Sie Ihre Räume mit dem Weiß,  
das nicht vergilbt.*



Erfahren Sie mehr auf  
[www.hdg.it](http://www.hdg.it)





# CLT HERSTELLUNG:

## DIGITAL. NACHHALTIG. IM SCHWARZWALD.

**// Drei Betriebe, eine Liebe: die zu Holz!** In Seewald-Besenfeld wurde von den Sägewerken Streit, Echtele und Kübler, die HolzBauWerk Schwarzwald GmbH gegründet, welche seit Herbst 2022 CLT (= Brettsperrholz) herstellt.

- ... 3D Holzbaufach-/Konstruktionsplanung
- ... 30 Jahre Abbunderfahrung
- ... Ansprechpartner mit Handwerkserfahrung auf Augenhöhe unserer Kunden
- ... CLT Abbund mit innovativer Technik
- ... Hohe Maßhaltigkeit durch innovativen Plattenaufbau, hydraulische Presstechnik und Kalibrierschliff

- ... Schleifen von Sichtqualität in Faserrichtung
- ... CLT aus vollständig flankenverklebten Brettern
- ... Edle Oberflächen aus Weißtanne und Fichte
- ... CLT aus der Region für die Region

 **HOLZBAUWERK**  
SCHWARZWALD

HolzBauWerk Schwarzwald GmbH  
Gewerbestraße 32 · 72297 Seewald  
Tel. +49 (0) 7447 89690-0  
info@hbw-schwarzwald.de  
www.holzbauwerk-schwarzwald.de



\* Gilt für KEIM Lignosil-Inco und KEIM Lignosil-Verano.



# KEIM LIGNOSIL® EIN MEILENSTEIN FÜR HOLZOBERFLÄCHEN

DIE WELTWEIT ERSTE SILIKATFARBE FÜR HOLZ.

- Hervorragender Feuchteschutz
- UV-stabil und absolut lichtecht
- Extrem witterungsbeständig
- Unerreicht langlebig
- Samtmatte Oberflächenoptik
- Einfach zu renovieren

KEIM. FARBEN FÜR IMMER.

[www.keim.com](http://www.keim.com)

# Verbindungssysteme für Stahl, Beton und Holz Anschlüsse im Holzbau für Wand, Boden und Haupt-Nebenträger

RICON®



RICON® EDELSTAHL



RICON® S



MEGANT®



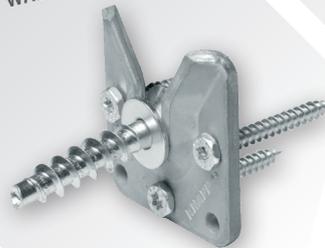
T-JOINT



WALCO® L



WALCO® V



WALCO® Z



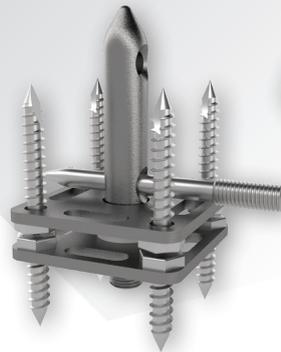
WALCO® PIPE



GIGANT



WALCO® BOLT



mit Hebe-  
vorrichtung



BROSCHÜRE



Vorfertigung  
in der Werkstatt



Zulassungen



Unsichtbar



x Minuten Feuer-  
widerstand



Holz-Anschluss



Stahl-Anschluss



Beton-Anschluss



# Materialeffizient und konfigurierbar

Decken-, Dach- und Wandbauteile sowie Akustikpaneele  
aus LIGNO® Brettsperrholz-Rippenelementen

30  
Jahre  
Materialeffizienz



## Tragfähigkeit

Variable Steghöhen für Spannweiten bis 18 m,  
Statik mit Schwingungsnachweis



## Sichtoberflächen

Echtholz-Oberflächen – geschlossen  
und in verschiedenen Profilierungen



## Schallschutz / Wärmeschutz

Erhöhter Schallschutz – auch tieffrequent,  
integrierte Wärmedämmung



## Brandschutz

Feuerwiderstand bis REI 90,  
Entflammbarkeit bis B-s1-d0



## Raumakustik

Integrierter Akustikabsorber  
aus natürlicher Holzfaser



## Installationen

Ober- und unterseitige Leitungsführung:  
längs und/oder quer



## Baubiologie

natureplus®-zertifizierte  
gesundheitliche Unbedenklichkeit

**LIGNO ■ TREND®**

Für eine nachhaltige Holz-Baukultur.

Landstraße 25 | 79809 Weilheim | Deutschland  
Tel.: +49 (0) 7755-9200-0 | Fax: -55  
E-Mail: info@lignotrend.com

Konfigurieren Sie das individuelle  
Element für Ihr Projekt selbst:  
[www.lignotrend.com/konfigurator](http://www.lignotrend.com/konfigurator)



# SYSTEM SLIDE

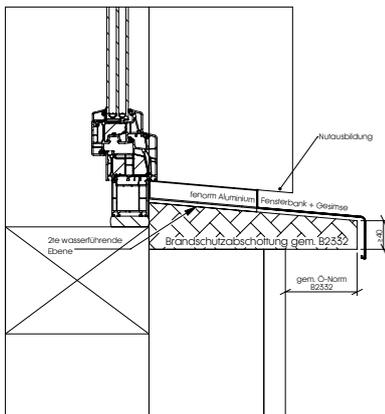
## ... als Geschoßtrennbleche - die perfekte Lösung

Das System Slide von helopal ermöglicht den normgerechten Einbau von Fensterbänken und verhindert Wassereintritt in den Baukörper. Es bietet dem Planer / Architekten volle Gestaltungsfreiheit und dem Verarbeiter Sicherheit bei der Umsetzung.



**Projekt:** Wohnhausanlage in Neuhofen an der Krems

**Eingebaute Produkte:** fenorm Aluminium Außen-Fensterbänke und Geschoßtrennbleche, System SlideAlu Kombi



### VORTEILE System Slide

- ideale Entwässerung der Sonnenschutz-Führungsschienen und der Fensterrahmennut/ Gehrungsnut in das Fensterbank-System
- In der Fassade durchlaufende Fensterbank
- Im System als Geschoßtrennbleche
- Kombifassade (Holz/WDVS)



# NEU

**mafell**  
creating excellence

mit:

**ErgoBalance  
CONCEPT**



Vielseitig, präzise, intuitiv einfach.

## Die Oberfräse LO 55

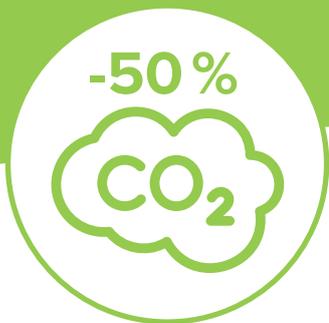
Die neue LO 55 sichert dir unvergleichliche Fräserlebnisse. Dank werkzeugloser Fräsespannung, neu entwickelter Frästiefeneinstellung mit permanenter Höhenklemmung und vielen weiteren Features kannst du dich voll und ganz auf dein Handwerk konzentrieren. Mit Leichtigkeit, Effizienz und Präzision wird jeder Fräsvorgang ohne lange Rüstzeit zum Kinderspiel.



Weitere Informationen unter:

**[www.mafell.de/lo55](http://www.mafell.de/lo55)**

# CO<sub>2</sub> reduzieren mit dem GRÜNEN VERBUNDTRÄGER und PUUCO® HOLZVERBINDUNGEN



## DELTABEAM® Green im Holz-Beton-Verbund- und Holzbau



Aus über 90% recycelten  
Materialien



Materialeinsparung

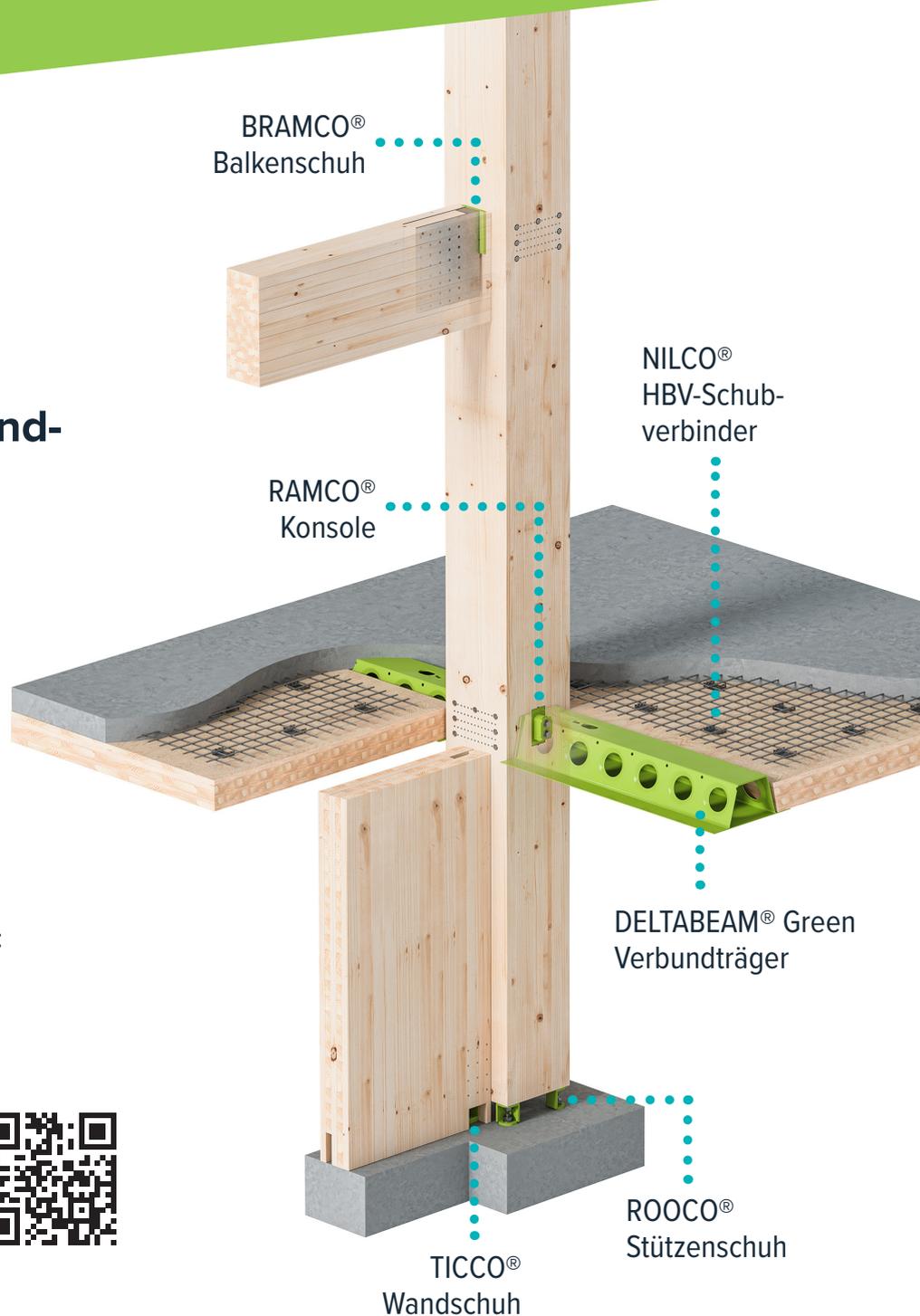


Erneuerbare Energien  
in der Produktion



Green Building Kompatibilität:  
EPD ▶ LEED / BREEAM

MEHR ERFAHREN



# ORGANIC BOARD

DIE DEKORATIVE PLATTE  
MIT OPTIMIERTEM  
ROHSTOFFKONZEPT

Neu! Mit biogenem Leim:

## OrganicGlue

- > 30 % reduzierter Kohlenstoffausstoß
- spart bis zu 20 m<sup>3</sup> Erdgas pro 1 m<sup>3</sup>

Für Pfliederer ist Nachhaltigkeit mehr als ein theoretisches Konzept. Wir arbeiten hart dafür, neue Maßstäbe zu setzen. Mit OrganicBoard P2 präsentieren wir eine beidseitig melaminbeschichtete dekorative Platte mit einem wegweisenden Rohstoffkonzept.

Entdecken Sie jetzt die Zukunft im Innenausbau:  
[pfliederer.com/organicboard](https://pfliederer.com/organicboard)

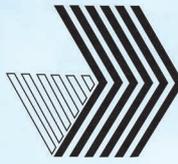
MAKE  
YOUR  
VISIONS  
WORK.

MADE IN GERMANY

DUROPAL

thermopal

 PFLEIDERER



# PREBENA®

BEST QUALITY

MADE IN GERMANY



www.prebena.de



## PKT HYBRID

Druckluft-Akku-Nagler  
bis 100 mm



MODULE und SLIDER  
für die automatisierte  
Fertigung



Druckluftnagler und  
Kompressoren  
für jede  
Anwendung



Zertifizierte  
Befestigungsmittel aus  
eigener Fertigung

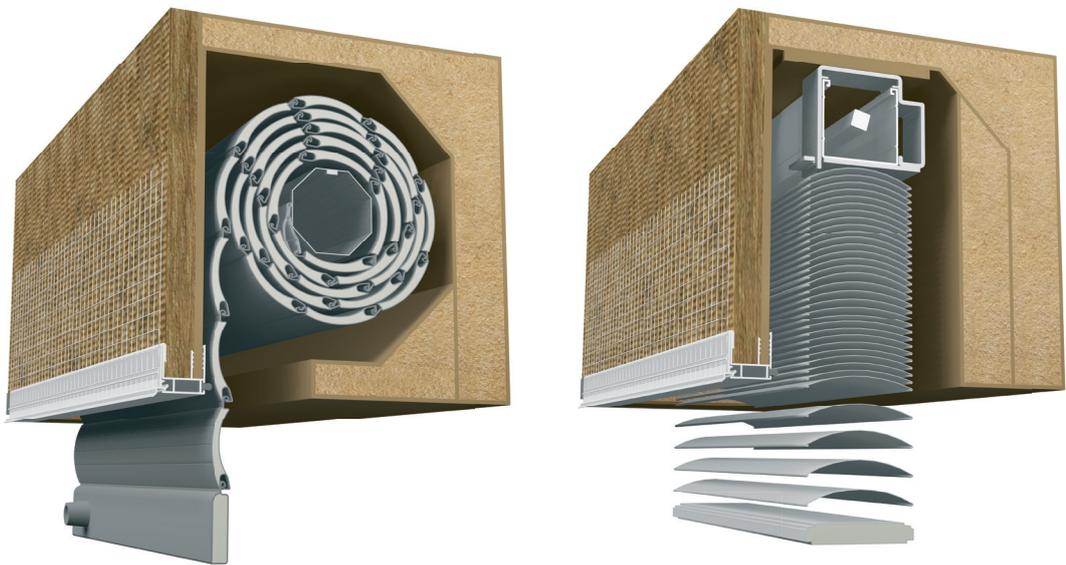




# ÖKO LINE

## Die nachhaltige Alternative

Rollladen-  
und Raffstore-  
kästen speziell  
für den  
Holzhausbau  
entwickelt



- Ökologisch hochwertige Ausführung aus nachwachsenden Rohstoffen
- Stabiles, selbsttragendes Kastensystem
- Hohe Flexibilität des Kastensystems zur einfachen Anpassung an unterschiedliche Wandaufbauten
- Dauerhafter Schutz der Dämmung durch einzigartige Sandwichbauweise
- Hervorragende Schall- und Wärmedämmung
- Statikelemente verfügbar
- Erhältlich als Einbau-, Aufsatz- oder Vorbaukasten

# smartex<sup>®</sup>

## MONITORING-SYSTEMS

intelligently prevent moisture damages...

for all kinds of massive and wooden constructions ...



### DETECT LEAKS AND MOISTURE IN REAL TIME

smartex<sup>®</sup> monitoring systems monitor your building in real time for leaks and wetness, even where you can't look. Around the clock, day by day. This means that damages are detected at an early stage, before long-term damages can occur.

PROGEO MONITORING  
SYSTEME UND SERVICES  
GMBH & CO. KG



### AUTOMATICALLY LOCATE DAMAGES

If damages occur, smartex<sup>®</sup> not only sends an alarm, but also information where the damage occurred. Thus, many damages remain a small bagel, because you do not have to search for long to find them.

HAUPTSTRASSE 2  
DE-14979 GROSSBEEREN  
PHONE: +49-33701-22-0



### CARRY OUT TARGETED REPAIRS

Particularly with moisture damages, the earlier you repair, the less consequential damages occur. With smartex<sup>®</sup> you can repair quickly, which saves trouble and costs. And what doesn't break doesn't need to be repaired. That's sustainable, too.

PROGEO.COM

# DAS DACH ALS ERLEBNISRAUM

DARUNTER RUHE.



## REGUPOL sound and drain 22

Trittschalldämmung Außenfläche

Messergebnis:

$$L_{n,w} (C_{1,50-2500}) = 41 (+3) \text{ dB}$$



# NUR-HOLZ

ROMBACH

Die einstoffliche Massivholz-Bauweise  
aus dem Schwarzwald

**Gesund leben in Holz.** Wie werden wir in Zukunft Bauen, Wohnen und Arbeiten? Für uns eindeutig mit einem NEIN zu Einweg- und Verbundmaterialien und ein JA zu einfachem und zirkulärem Bauen.

Dafür sind rückbaubare, sortenrein trennbare und zweifelsfrei wiederverbaubare Stoffe -unverklebt-, leicht lösbar, variabel im Format und Handling im Einsatz.

Unsere Ausführungsvarianten NUR-HOLZ „Sichtqualität“ „insulated“ und im besonderen unsere „rustial“-Ausführung, bei der ausschließlich Klimaholz zum Einsatz kommt, erfüllen alle diese Kriterien!

Hauptressource ist das im Umkreis um unser Werk geerntete Fichten- und Tannenholz.

Unsere Vision ist Wohnen und Arbeiten im Rohstofflager.

Vielleicht können wir so -gemeinsam- Akzente setzen.



Hersteller NUR-HOLZ:

**Rombach Bauholz + Abbund GmbH**

Holdersbach 7, 77784 Oberharmersbach

Tel.: 07837/9229-0, [info@nur-holz.com](mailto:info@nur-holz.com)

[www.nur-holz.com](http://www.nur-holz.com)



# R-TECH

## IHR PARTNER FÜR TRANSPORT & LAGER

Qualität und Sicherheit mit  
mehr als 25 Jahren Erfahrung

**R-TECH Absetzpaletten / Wechselbrücken  
für Holzfertigteilbau**

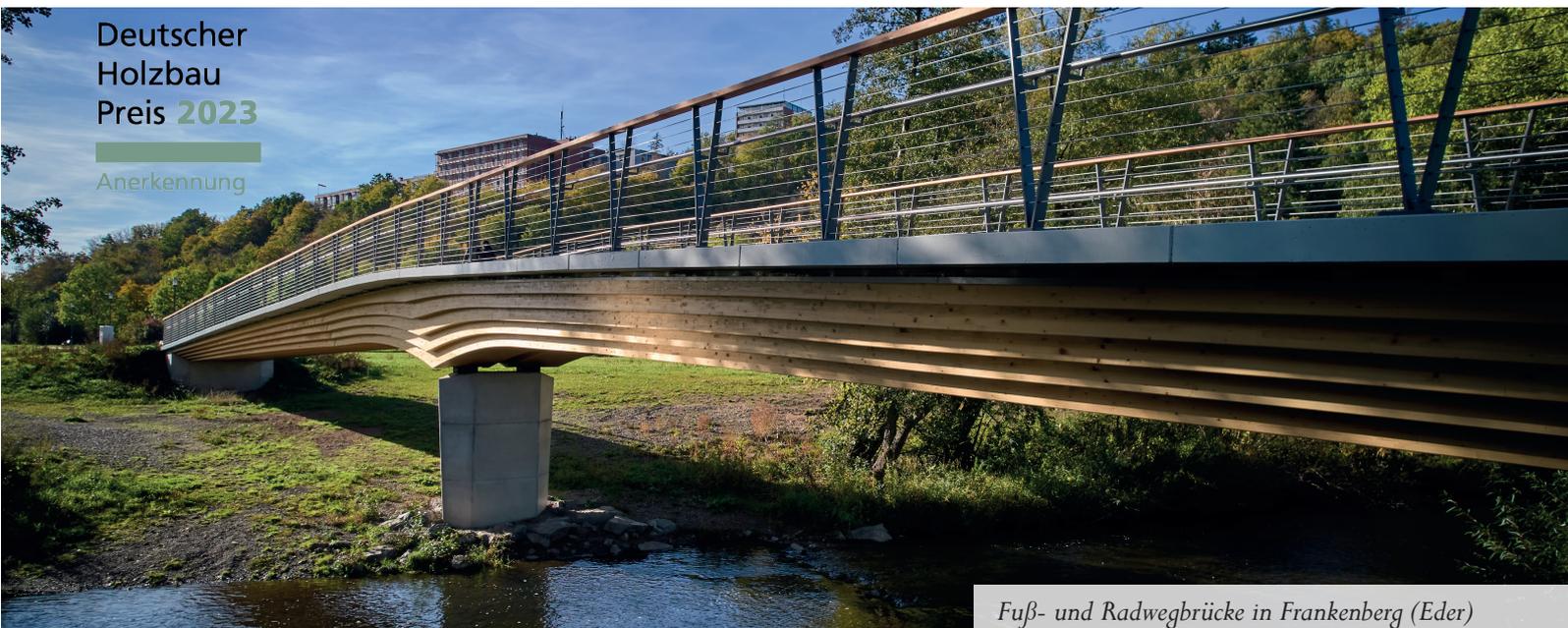


Wir freuen uns auf Ihren Besuch: Schwabenlandhalle in Fellbach  
[www.r-tech.at](http://www.r-tech.at)

Hallenbau · Brückenbau · Kreativbau · Brettschichtholz

Deutscher  
Holzbau  
Preis 2023

Anerkennung



Fuß- und Radwegbrücke in Frankenberg (Eder)

Wir schlagen Brücken, die Nachhaltigkeit  
und hohe Lebensdauer verbinden

**SCHAFFITZEL**  
*Bauen mit Holz und Ideen*



Fuß- und Radwegbrücke Parkufersteg in Balingen

Schaffitzel GmbH + Co. KG · 74523 Schwäbisch Hall  
[www.Schaffitzel.de](http://www.Schaffitzel.de)

UNSER SORTIMENT

# Einzigartige Lösungen



## SONUS

Weltneuheit – Wenn Schallschutz, dann richtig! Dieser Winkel revolutioniert die Verbindungstechnik im Holzbau in Punkto Schallschutz.

- Optimaler Schallschutz
- Hohe Tragfähigkeit
- Geprüftes System
- Einfache Montage
- Top Schallentkopplung

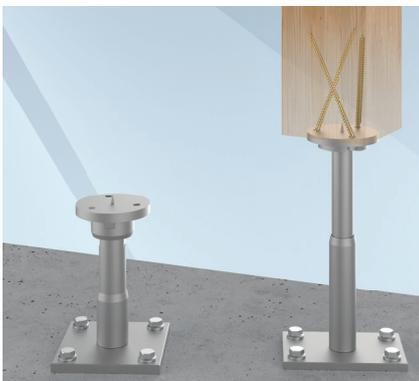


## HOLZVERBINDER

Die ausgereiften und bewährten SHERPA Holzverbinder ermöglichen eine effiziente & wettbewerbsfähige Planung sowie Ausführung anspruchsvoller Aufgabenstellungen im gesamten Bauwesen.

### SHERPA-Brandschutzlösungen bis R120

Seit 8. Februar 2022 können alle Planer und ausführende Betriebe im Holzbau von den Neuerungen der ETA-12/0067 profitieren.



## POWER BASE

Durch die ausgewogene Kombination unserer Stützenfüße aus der Kopfplatte, der Verschlussarten, den Höhenverstellungsbereichen und den daraus resultierten Tragfähigkeitswerten können aus unserer Sicht alle praxisüblichen Stützenanschlüsse mit lediglich sieben Power Base Typen ausgeführt werden.



# Glasfassaden als Beitrag zum konstruktiven Holzschutz

Nachhaltige Konzepte für Neubau und Sanierung

Ob zum Schutz der Holzfassade vor Witterungseinflüssen, zusätzlicher Wärmeschutz für eine energieeffiziente Gebäudehülle oder zum Schallschutz in städtischen Neubauten – die Proline T ist der neue Allrounder für eine flexible Fassadenverglasung.



# GUT FÜR UMWELT UND MENSCH



Mit der **ökologischen Holzfaserdämmplatte ISOLAIR** können Sie die gesamte Gebäudehülle **nachhaltig dämmen** und gleichzeitig einen Beitrag zu Energieeffizienz und **CO<sub>2</sub>-Einsparung** leisten. Zum Beispiel: Bei einem Einfamilienhaus mit 380 m<sup>2</sup> gedämmter Dach- und Fassadenfläche und einer durchschnittlichen Dämmstoffstärke von 220 mm werden über den Dämmstoff ca. 20 Tonnen biogener Kohlenstoff gespeichert.

Die Anwendungsmöglichkeiten der Dämmplatte ISOLAIR reichen von der Flach- und Steildachdämmung bis hin zur Wanddämmung mit WDVS oder hinter vorgehängten Fassaden. Außerdem kann die Platte bei der Dämmung der obersten Geschossdecke sowie bei der Innendämmung eingesetzt werden. **Dank dieser Vielseitigkeit vereinfacht die ISOLAIR auch die Lagerhaltung.**

**ISOLAIR**  
Einsatzbereiche und  
Vorteile entdecken!



## **ISOLAIR:** **Beidseitig verwendbar**

- + weniger Verschnitt
- + ressourcenschonend
- + praktisch beim Verlegen



GEWACHSEN ...

...für den  
ausgezeichneten  
Holzbau

Prämiert mit dem Innovationspreis  
Architektur + Bauwesen:  
Die ONE-BLOCK Wohnungstrennwand  
mit einem hervorragenden Luftschall-  
Dämmwert von  $R_w = 66$  dB. Es handelt  
sich dabei um eine massive, rückbau-  
bare, 265 mm dünne Schallschutz-  
Sichtwand aus **MAGNUMBOARD®** OSB  
mit biegeweichem, freischwingendem  
Kern aus PhoneStar Schalldämm-  
platten.

**SWISS KRONO**  
**MAGNUMBOARD® OSB**

Das massive Holzbausystem



[www.blauer-engel.de/uz76](http://www.blauer-engel.de/uz76)

- emissionsarm
- Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft
- in der Wohnumwelt gesundheitlich unbedenklich

## 570 Mitarbeiter - Ein Ziel - Ein Team für Sie im Einsatz



### Schlüsselfertiges Bauen

---

Wohn- und Gewerbeobjekte  
Kindertagesstätten  
Schulen  
Ein- und Mehrfamilienhäuser  
An- und Umbauten  
Aufstockungen



### Holzbau

---

Geschlossene Gebäudehülle  
Holzrahmenbau  
Ingenieur Holzbau  
Sanierung / Restauration  
Dachkonstruktionen  
Dachdeckerarbeiten



### Fenster & Fassaden

---

Holzfenster  
Holz-Aluminiumfenster  
Aluminiumfenster  
Kunststofffenster  
Haustüren  
Pfosten-/Riegelkonstruktionen



### Innenausbau

---

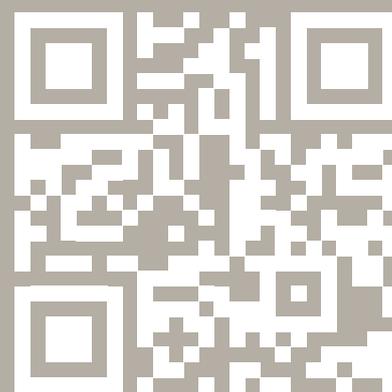
Objekt- und Ladeneinrichtungen  
Wohn- und Objekttüren  
Möbel  
Treppen  
Schranksysteme  
Bodenbeläge



### Stahl- & Metallarbeiten

---

Bauschlosserei  
Stahlbau  
Blechbearbeitung  
Edelstahlbearbeitung



### Unternehmensgruppe Terhalle

Solmsstraße 46  
48683 Ahaus-Ottenstein  
02561-98 23 0

# THERMORY®

Thermory vereint Design und Wissenschaft,  
Schönheit und Innovation.

Als größter Hersteller von thermisch  
modifiziertem Holz und Saunamaterialien können  
wir weltweit auf unzählige Bauprojekte blicken,  
die mit unseren nachhaltigen sowie langlebigen  
Produkten verwirklicht wurden.

NEU:  
Feuerbeständiges Design-Holz von THERMORY

Fassade: Thermory Benchmark Thermokiefer Mix & Match

Foto: Veronika Stuksrud, Wohngebäude in Norwegen

LEAVE A LASTING IMPACT! → [thermory.de](https://thermory.de)





**In Beton planen.  
Mit Holz bauen.**  
Stützen – Platten – fertig.

**Standnummer**  
31

[www.ts3.biz](http://www.ts3.biz)



**TS3**  
Timber Structures 3.0

**Moderne Bäder für höchste Qualitätsansprüche.**

Bei Tjiko kommt alles aus einer Hand: Von der Planung und Entwicklung der Badmodule über die Produktion bis hin zum Qualitätsmanagement schnürt das Unternehmen ein Rundum-sorglos-Paket. Geliefert wird zum vereinbarten Festpreis ohne versteckte Zusatzkosten.

Tjiko-Bad ist ein fertig anwendbares, zu 100% mängelfreies Produkt, dass allen Prozessbeteiligten in der Wertschöpfungskette des Bauens als auch den späteren Nutzern ein hohes Maß an Sicherheit, Qualität und Komfort verspricht.

Im Vergleich zur konventionellen Bauweise sorgt die industrielle Vorfertigung für einen effizienten Bauablauf. Der innovative und zuverlässige Prozess sorgt neben Planungs- und Kostensicherheit für maximale Effizienz und Qualität,

denn alle Beteiligten profitieren von einer einfachen und schnellen Abwicklung.

## DIE VORTEILE



**BAUPROZESS**

- + Schneller und effizienter
- + Skalierbar und termintreu
- + Einfacher und stressfreier
- + Flexibler und nachhaltiger



**KOSTEN**

- + Günstiger
- + Preisgarantie
- + Kostentransparenz



**QUALITÄT**

- + Fehlerlos und zuverlässig
- + Langlebig und hochwertig
- + Hygienisch und pflegeleicht
- + Produktion in Deutschland
- + Gewährleistung von 5 Jahren



**DESIGN**

- + Modern und trendig
- + Clean, zeitlos und schlicht
- + Durchdacht und makellos





## Hightech-Holz für Ihre Bauprojekte

Unsere Stärke liegt in der Produktion von **außergewöhnlichen Dachkonstruktionen** und passgenauem **X-LAM** (Massivholz).

Wir beraten und begleiten Sie von der Planung bis zur Fertigstellung.

[www.derix.de](http://www.derix.de)

**WIEHAG**



# TALL TIMBER *BY WIEHAG*

THE HIGH-TECH, LOW-CARBON SOLUTION  
FOR MULTI-STOREY STRUCTURES

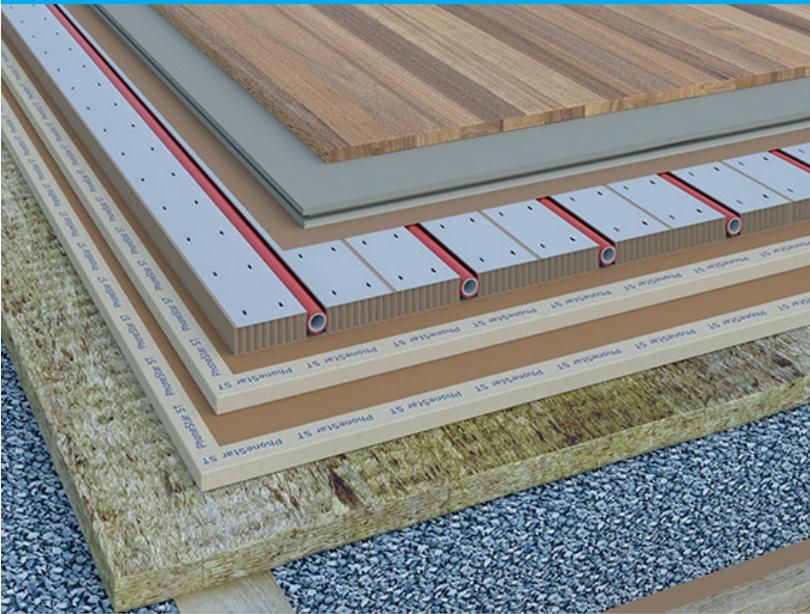
WIEHAG GmbH | Linzer Straße 24 | 4950 Altheim  
[www.wiehag.com](http://www.wiehag.com) | 0043 7723 465-0 | [office@wiehag.com](mailto:office@wiehag.com)



**SCHALLDÄMMUNG**

**FLÄCHENHEIZUNG**

**TROCKENESTRICH**



**PhoneStar**  Schalldämmplatten

**PowerFloor**  Flächenheizung

**PhoneStrip**  Entkopplungsstreifen



Das Tragen des QNG-ready-Siegels qualifiziert die Wolf Bavaria Produkte für die Vergabe der KfW-Förderung QNG.

**TROCKENE SYSTEMLÖSUNGEN**

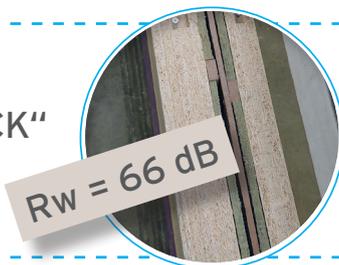
für Boden, Wand und Decke - bei Neubau (Massiv / Holz) und Sanierung

**PhoneStrip**  **PHONESTRIP**  
Entkopplungsstreifen

PhoneStrip vermindert die Flankenübertragung von Luft- und Körperschall durch die innere Reibung und funktioniert daher grundlegend anders als herkömmliche Entkopplungslager.



**NEU!!!**  
**DIE „ONE-BLOCK“**  
**WOHNUNGS-**  
**TRENNWAND**



**Die rückbaubare Schallschutz-Sichtwand mit biegeweichem freischwingendem Kern**

Ökologisch • Höchst schalldämmend • Stapelbar • Ausgezeichnet

- ✓ Werksmontage möglich
- ✓ Ein einziger Block
- ✓ Keine Federschiene oder Schwingungsbügel nötig



✓ innovativ    ✓ ökologisch    ✓ ausgezeichnet

**Wolf Bavaria GmbH** - ist seit 2004 ein erfolgreiches, innovatives und expandierendes Unternehmen welches Systemlösungen für den Holz- und Trockenbau anbietet.

Der ökologische Gedanke steht für die Firma Wolf Bavaria dabei klar im Vordergrund und wir setzen deshalb bei der Produktneuentwicklung auf nachhaltige Rohstoffe regionaler Herkunft. Unsere Systeme sind letztendlich rückbaubar und in die einzelnen Komponenten trennbar.



**Wolf Bavaria GmbH**  
Gutenbergstraße 8  
91560 Heilsbronn  
Germany

**Kontakt**  
Tel.: +49 (0) 9872 953 98 0  
Fax: +49 (0) 9872 953 98 - 11  
Email: info@wolf-bavaria.com



www.wolf-bavaria.com

**ZÜBLIN Timber**

Industriestr. 2, 86551 Aichach

Tel. +49 8251 908-0, timber@zueblin.de

# Ihr Spezialist im Holzbau



Medizinhistorisches Museum Ingolstadt  
© Foto: Marcus Ebener

**ZÜBLIN Timber** steht für anspruchsvolle und zukunftsweisende Lösungen in allen Bereichen des Holzbaus. Aus einer Hand bieten wir die Entwicklung, Produktion, Lieferung und Ausführung hochwertiger Holzbausysteme – von der Bauteillieferung über den komplexen Ingenieurholzbau und Fassadenbau bis hin zur schlüsselfertigen Bauausführung. Gemeinsam mit unseren Kund:innen gestalten wir effiziente Lösungen und nachhaltige Lebensqualität.

[www.zueblin-timber.com](http://www.zueblin-timber.com)



**ZÜBLIN**  
WORK ON PROGRESS