

FORUM HOLZBAU DEUTSCHLAND

2. Deutscher Holzbau Kongress (DHK)

Mercure Hotel MOA, Deutschland

24./25. August 2021

Bauen mit Holz im urbanen Raum

BFH BIEL
TH ROSENHEIM
NI AALTO HELSINKI
TU MUNCHEN
BC PRINCE GEORGE
TU WIEN
TU BERLIN

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

Druck: EBERL PRINT
Kirchplatz 6
87509 Immenstad
Deutschland
T +49 8323 802 200

Auflage: 620 Ex.

© 2021 by FORUM **HOLZBAU**, Biel/Bienne, Schweiz
ISBN 978-3-906226-35-4

www.forum-holzbau.com | www.forum-holzkarriere.com

Inhalt

Wie Bauen, Wohnen und Leben wir in Zukunft

- Wie verändert «grüne» Politik die Bauentwicklung bis 2025?** 11
Neubau- und Sanierungsprognose unter neuen Vorzeichen
Martin Langen, B+L Marktdaten, Bonn, Deutschland

Block A1

Holz der Rohstoffspeicher

- Graue Energie & CO₂ – Vorteile nachwachsender Rohstoffe** 17
Urs Christian Luginbühl, CO₂-Institut, c/o VGQ, Biel/Bienne (CH)
- Holz – ein zirkulärer Baustoff** 25
Andrea Klinge, ZRS Architekten Ingenieure, Berlin, Deutschland
Eike Roswag-Klinge, Natural Building Lab, Universität Berlin, ZRS Architekten Ingenieure, Berlin, Deutschland
- Cradle to Cradle in Architektur und Konstruktion** 41
Jörg Finkbeiner, Partner und Partner Architekten, Berlin, Deutschland

Block B1

Konstruktiver Schallschutz

- Optimierung von Holzdecken in Bezug auf die DIN 4109** 51
Robert Zehetmayr, ig-bauphysik, Hohenbrunn, Deutschland
- Ausführungsfehler im Schallschutz vermeiden** 67
David Volk, PIRMIN JUNG Deutschland, Remagen, Deutschland
- Tiefe Frequenzen beim Trittschall und differenzierte Flankenbewertung bei Trittschallübertragung – Ifo Schriftreihe Schallschutz im Holzbau** 79
Adrian Blödt, Blödt Holzkomplettbau, Kohlberg, Deutschland

Städtisch, Ökologisch und Ökonomisch – der moderne Büro- und Wohnbau

- Planen und Bauen mit Holzraummodulen** 97
Jürgen Bartenschlag, Sauerbruch Hutton Architekten, Berlin, Deutschland
- ÜSTRA-Siedlung, Hannover Werkwohnungsbau in mehr geschossiger Holzmassivbauweise** 105
Kay Marlow und Ekkehard Vogt, MOSAIK architekten bda, Hannover, Deutschland
- Green Office® Enjoy | Paris** 111
Prof. Gerd Jäger, Baumschlager Eberle Architekten, Berlin, Deutschland

Aktuelles aus Berlin

- Das Fliegende Klassenzimmer DFK** 119
Andreas Spieß und Thomas Fundel, Bezirksamt Tempelhof-Schöneberg, Berlin, Deutschland
- Der lange Weg: Berlin baut wieder in Holz** 131
Andreas Otto, Mitglied des Berliner Abgeordnetenhauses, Baupolitischer Sprecher Fraktion Bündnis 90/Die Grünen, Berlin, Deutschland

Block A2

Effizient Bauen

- dataholz.eu – Bibliothek für Bauteile, Bauteilfügungen und Referenzprojekte** 139
Maren Kohaus, Technische Universität München, München, Deutschland
- wie planen wir den Holzbau** 155
Ansgar Hüls, Hüls Ingenieure – Tragwerke aus Holz, Blankenfelde-Mahlow, Deutschland
- Digitaler Bauprozess: Von der Planung bis zur Umsetzung** 167
Max Renggli, Renggli, Schötz, Schweiz

Block B2

Gesund Bauen

- VOC-Anforderungen an Baustoffe und Innenräume – wie passt das zusammen** 177
Dr. Martin Ohlmeyer, Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg, Deutschland
- Wohnungslüftung mit kombinierten Systemen** 185
Harald Krause, Technische Hochschule Rosenheim, Rosenheim, Deutschland
- Hygienische Bewertung von Baumaterialien – richtig planen und konstruieren** 195
Karl-Heinz Weinisch, IQUH GmbH, Weikersheim, Deutschland

Block A3

Bemessen und Konstruieren im Holz(haus)bau

- Decken für Holzhochhäuser** 211
Volker Schmid und Melf Sutter, Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland
- Haut Amsterdam – a 21-Storey Timber Residential Building** 223
Rob Verhaegh, Arup, Amsterdam, Holland
Matthias Rinnhofer, RWT plus ZT, Wien, Österreich
Andreas Wemmer, ASSMANN BERATEN UND PLANEN, Hamburg, Deutschland
- Holzhochhaus HoHo Wien** 237
Dr. Richard Woschitz, Woschitz group, Wien, Österreich

Block B3

Gebäudehülle: Gestaltung | Konstruktion | Funktion

- Holzfassade und Architektur** 255
Prof. Hermann Kaufmann, Hermann Kaufmann + Partner ZT, Schwarzach, Österreich
- Planung und Konstruktion von Holzfassaden** 263
Heinz Pape, bauart Konstruktions, Lauterbach, Deutschland
- Holzfassaden: Witterung und Schutzmassnahmen – Möglichkeiten und Grenzen im Überblick** 269
Thomas Volkmer, Berner Fachhochschule, Biel/Bienne, Schweiz
- Funktionen einer Gebäudehülle in Form von Holzelementfassaden** 283
Oliver Fried, Rubner Holzbau, Augsburg, Deutschland

Welche Rolle wird und kann der Holzbau in Zukunft spielen

- Vom Quartier WIR zum WoHo** 293
Thomas Bestgen, UTB Projektmanagement, Berlin, Deutschland
- Potentiale im Holzbau: Erfahrungen, Erkenntnisse und Forderungen an den Geschosswohnungsbau** 303
Horst Glinka, B&O Bau Hamburg, Hamburg, Deutschland

Moderatoren

Burlet Sandra

Lignum
Mühlebachstrasse 8
8008 Zürich, Schweiz

Tel.: +41 44 267 47 77
E-Mail: sandra.burlet@lignum.ch

Prof. Flaßnöcker Silke

Hochschule Wismar
Philipp-Müller-Strasse 14
23966 Wismar, Deutschland

Tel.: +49 3841 753 73 72
E-Mail: silke.flassnoecker@hs-wismar.de

Prof. Germerott Uwe

Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau, Weiterbildung
Solothurnstrasse 102
2504 Biel/Bienne, Schweiz

Tel.: +41 32 344 03 50
E-Mail: uwe.germerott@bfh.ch

Hüls Ansgar

Landesbeirat Holz Berlin
Lindenstrasse 34a
14467 Potsdam, Deutschland

Tel.: +49 3379 3105 744
E-Mail: a.huels@huels-ingenieure.de

Prof. Dr. h. c. Köster Heinrich

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 805 120
E-Mail: heinrich.koester@th-rosenheim.de

Dr. Lippert Jörg

BBU Verband Berlin-Brandenburgischer
Wohnungsunternehmen
Lentzeallee 107
14195 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3089 781 154
E-Mail: joerg.lippert@bbu.de

Dr. Ohnesorge Denny

Landesbeirat Holz Berlin-Brandenburg e.V.
Dorotheenstrasse 35
10117 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3020 6069 710
E-Mail: danny.ohnesorge@holzindustrie.de

Prof. Dr. Schauerte Tobias

Linnaeus University
Lückligsplats 1
35195 Växjö, Schweden

Tel.: +46 470 708 824
E-Mail: tobias.schauerte@lnu.se

Prof. Dr. Schmid Volker

Technische Universität Berlin
Gustav-Meyer Allee 25
13355 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3031 472 162
E-Mail: volker.schmid@tu-berlin.de

Dr. Schütte Andreas

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
(FNR)
Hofplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen, Deutschland

Tel.: +49 3843 6930 101
E-Mail: a.schuette@fnr.de

Prof. Dr. Schwarz Ulrich

Hochschule Eberswalde
Schicklerstrasse 5
16225 Eberswalde, Deutschland

Tel.: +49 3334 657 374
E-Mail: Ulrich.Schwarz@hnee.de

Prof. Winter Wolfgang

Technische Universität Wien
Karlsplatz 13
1040 Wien, Österreich

Tel.: +43 6991 0335 049
E-Mail: winter@iti.tuwien.ac.at

Referenten

Dr. Aicher Simon

Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 4
70569 Stuttgart, Deutschland

Tel.: +49 7116 856 22 87
E-Mail: Simon.Aicher@mpa.uni-stuttgart.de

Bartenschlag Jürgen

Sauerbruch Hutton
Gesellschaft von Architekten mbH
Lehrter Strasse 57
10557 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3039 782 128
E-Mail: jb@sauerbruchhutton.com

Bestgen Thomas

UTB Projektmanagement GmbH
Columbiadamm 25
10965 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3044 0087 41 22
E-Mail: bestgen@utb-berlin.de

Blödt Adrian

Blödt Holzkomplettbau GmbH
Ahornweg 5
92702 Kohlberg, Deutschland

Tel.: +49 9608 583
E-Mail: info@holzbau-bloedt.de

Finkbeiner Jörg

Partner und Partner Architekten
Reichenberger Strasse 124a
10999 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3054 494 377
E-Mail: jf@partnerundpartner.com

Fried Oliver

Rubner Holzbau GmbH
Am Mittleren Moos 53
86167 Augsburg, Deutschland

Tel.: +49 821 710 641 38
E-Mail: oliver.fried@rubner.com

Fundel Thomas

Bezirksamt Tempelhof-Schöneberg
John-F.-Kennedy-Platz
10825 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3090 2773 200
E-Mail: t.fundel@ba-ts.berlin.de

Glinka Horst

B&O Bau Hamburg GmbH
Friedrich-Ebrt-Damm 202 a
22047 Hamburg, Deutschland

Tel.: +49 4066 935 823
E-Mail: h.glinka@bo-gruppe.de

Hüls Ansgar

Hüls Ingenieure Tragwerke aus Holz
Trebbiner Strasse 10
15831 Blankenfelde-Mahlow, Deutschland

Tel.: +49 3379 3105 744
E-Mail: a.huels@huels-ingenieure.de

Prof. Jäger Gerd

Baumschlag Eberle Architekten
Kohlfurter Strasse 41/43
10999 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3069 0042 30
E-Mail: g.jaeger@be-architects.de

Prof. Kaufmann Hermann

Hermann Kaufmann + Partner ZT GmbH
Sportplatzweg 5
6858 Schwarzach, Österreich

Tel.: +43 5572 581 740
E-Mail: h.kaufmann@hkarchitekten.at

Klinge Andrea

ZRS Architekten Ingenieure
Schlesische Strasse 26
10997 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3039 800 950
E-Mail: klinge@zrs.berlin

Kohaus Maren

Technische Universität München
Arcisstrasse 21
80333 München, Deutschland

Tel.: +49 8928 925 496
E-Mail: maren.kohaus@tum.de

Prof. Dr. Krause Harald

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 8052 415
E-Mail: harald.krause@th-rosenheim.de

Langen Martin

B+L Marktdaten GmbH
Markt 26
53111 Bonn, Deutschland

Tel.: +49 2286 298 720
E-Mail: ml@BL2020.com

Prof. Marlow Kay

MOSAİK architekten bda
Hornemannweg 5
30167 Hannover, Deutschland

Tel.: +49 5112 707 490
E-Mail: kay.marlow@mosaik-architekten.de

Otto Andreas

Fraktion Bündnis 90/Die Grünen
Niederkirchnerstrasse 5
10111 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3023 252 445
E-Mail: andreas.otto@gruene-fraktion.berlin

Renggli Max

Renggli AG
St. Georgstrasse 2
6210 Sursee, Schweiz

Tel.: +41 41 925 25 02
E-Mail: max.renggli@renggli.swiss

Prof. Dr. Schellhuber Hans Joachim

Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung
Telegrafenberg A 31
14473 Potsdam, Deutschland

Tel.: +49 3312 8825 00
E-Mail: emdir@pik-potsdam.de

Spieß Andreas

Bezirksamt Tempelhof-Schöneberg
John-F.-Kennedy-Platz
10825 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3090 2773 200
E-Mail: spiess@ba-ts.berlin.de

Tchoban Sergei

TCHOBAN VOSS Architekten GmbH
Rosenthaler Strasse 40-41
10178 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3028 392 00
E-Mail: berlin@tchobanvoss.de

Luginbühl Urs

VGQ / CO2-Institut
Bahnhofplatz 1
2502 Biel/Bienne, Schweiz

Tel.: +41 32 327 20 02
E-Mail: lucinfo@bluewin.ch

Dr. Ohlmeyer Martin

Thünen-Institut für Holzforschung
Leuschnerstrasse 91c
21031 Hamburg, Deutschland

Tel.: +49 4073 962 635
E-Mail: martin.ohlmeyer@thuenen.de

Pape Heinz

bauart Konstruktions GmbH & Co. KG
Spessartstrasse 13
36341 Lauterbach/Hessen, Deutschland

Tel.: +49 6641 966 10
E-Mail: pape@bauart-ingenieure.de

Prof. Roswag-Klinge Eike

ZRS Architekten Ingenieure
Schlesische Strasse 26
10997 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3039 800 950
E-Mail: ros wag@zrs.berlin

Prof. Dr. Schmid Volker

Technische Universität Berlin
Strasse des 17. Juni 135
10623 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 3031 472 162
E-Mail: volker.schmid@tu-berlin.de

Sprenger Wolf-Dieter

Stadtsiedlung Heilbronn GmbH
Urbanstrasse 10
74072 Heilbronn, Deutschland

Tel.: +49 7131 625 750
E-Mail: wolf-dieter.sprenger@stadtsiedlung.de

Verhaegh Rob

Arup
Naritaweg 118
1043 CA Amsterdam, Holland

Tel.: +31 20 752 31 83
E-Mail: Rob.Verhaegh@arup.com

Vogt Ekkehard

MOSAİK architekten bda
Hornemannweg 5
30167 Hannover, Deutschland

Tel.: +49 5112 707 49 23
E-Mail: ekkehard.vogt@mosaik-architekten.de

Volk David

PIRMIN JUNG Deutschland GmbH
Am Güterbahnhof 16
53424 Remagen, Deutschland

Tel.: +49 2642 905 91 14
E-Mail: david.volk@pirminjung.de

Prof. Dr. Volkmer Thomas

Berner Fachhochschule
Solothurnstrasse 102
2504 Biel/Bienne, Schweiz

Tel.: +41 32 344 03 46
E-Mail: thomas.volkmer@bfh.ch

Weinisch Karl-Heinz

IQUH GmbH
Deutschordenstrasse 4/3
97990 Weikersheim, Deutschland

Tel.: +49 7934 912 111
E-Mail: weinisch@iquh.de

Dr. Woschitz Richard

Woschitz Group GmbH
Karlsplatz 2
1010 Wien, Österreich

Tel.: +43 15 049 863
E-Mail: rw@woschitzgroup.com

Zehetmayr Robert

ig-bauphysik GmbH & Co. KG
Dorfstrasse 8
85662 Hohenbrunn, Deutschland

Tel.: +49 8102 806 69 62
E-Mail: zehetmayr@ig-bauphysik.de

Dienstag, 24. August 2021

Wie Bauen, Wohnen und Leben wir in Zukunft

Wie verändert «grüne» Politik die Bauentwicklung bis 2025? Neubau- und Sanierungsprognose unter neuen Vorzeichen

Martin Langen
B+L Marktdaten GmbH
Bonn, Deutschland



Wie verändert «grüne» Politik die Bauentwicklung bis 2025?

Neubau- und Sanierungsprognose unter neuen Vorzeichen

«Grüne» Politik und die Auswirkungen auf die Art des Bauens ist ja grundsätzlich keine neue Sache. Wir werden in den nächsten Jahren allerdings eine Verstärkung dieser Entwicklung erleben. Die Auswirkungen dieser Verstärkungen darzustellen ist das Ziel dieses Vortrags. Sowohl der Wohnbau als auch der Nichtwohnbau wird im Neubau betroffen sein hier wird der Holzbau am stark von dieser Entwicklung profitieren. Die größten Investitionen werden jedoch in die Sanierung und Renovierung fließen, davon wird der Holzbau aber nur unterdurchschnittlich profitieren.

1. ESG-Richtlinien

Die ESG-Richtlinien werden in mehrfacher Hinsicht das Bauen betreffen. Zum einen werden Immobilienfonds ihre Portfolios überdenken und neu strukturieren. Ziel wird sein, möglichst viele neue Gebäude bzw. energetisch sanierte Gebäude im Portfolio zu halten, um ein gutes Rating zu bekommen. Unter diesen Voraussetzungen dürfen – und möchten – nämlich insbesondere institutionelle Investoren weiterhin in die Fonds investieren. An dieser Stelle wird es eine große Umschichtung der Immobilienportfolios in den nächsten Jahren geben. Dies wird auch der Grund sein, warum neue Bürogebäude gebaut und von Investoren gekauft werden und auch Mieter finden werden, obwohl die Nachfrage nach Büroflächen tendenziell stagniert bis rückläufig sein wird. Die Energieeffizienz eines Gebäudes wird einer der besten Garantien für eine Vermietbarkeit und Preis-/Wertstabilität des Gebäudes sein. Darunter leiden werden vor allen Dingen unrenovierte, alte Gebäude. Diese Entwicklung wird sowohl den Neubautrend befördern, als auch die Sanierung von alten Gebäuden in guten Lagen. Die Büroimmobilien sind dabei nur als Beispiel zu sehen. Die Richtlinien werden im Prinzip jedes größere Unternehmen anhalten, in energieeffizienten Gebäuden zu arbeiten, da ein ESG-Rating die gesamte Bilanz eines Unternehmens berücksichtigt, also den Energieverbrauch der Produktion, der Logistik aber eben auch der Verwaltungsgebäude. Somit werden viele, insbesondere börsennotierte Unternehmen darauf achten, ihre Bürokapazitäten in neue bzw. energetisch sanierte Gebäude umzulagern. Da dieser Trend in der gesamten EU inklusive Schweiz von Bedeutung sein wird, kommt dieser Richtlinie in Bezug auf die energetische Sanierung und den Neubau eine besondere Bedeutung zu.

2. Öffentlicher Bau als Vorreiter

Der öffentliche Bau war schon in der Vergangenheit ein Vorreiter für Holzbau-Leuchtturmprojekte. Dies wird sich in den nächsten Jahren noch weiter verstärken. Die aktuellen Preissteigerungen werden lediglich zu Verzögerungen führen. Nur in Ausnahmefällen werden Gebäude nicht in Holzbau gefertigt, weil die Preise gestiegen sind, sondern die Budgets werden den neuen Preisniveaus voraussichtlich mittelfristig angepasst. Im Vortrag werden die Auswirkungen auf die verschiedenen Gebäudetypen dargestellt und quantifiziert. Auch an dieser Stelle ist der Trend zu grüner Politik in fast allen europäischen Ländern gleichzeitig zu erkennen. Die Nachfrage nach derartigen Lösungen aus dem öffentlichen Bau wird in vielen Ländern parallel weiterhin zu beobachten sein und die Entwicklung positiv beeinflussen.

3. Daten, Daten, Daten

Wir immer werden wir aufgezeigten Entwicklungen in Prognosen mit m² fertiggestellten Flächen bzw. zu erwartenden Wohneinheiten darstellen. Die Entwicklung der Renovierentwicklung werden in EUR dargestellt.

Block A1
Holz der Rohstoffspeicher

Graue Energie & CO₂

Vorteile nachwachsender Rohstoffe

Urs Christian Luginbühl
CO₂-Institut c/o VGQ
Biel/Bienne, Schweiz



Graue Energie & CO₂

Vorteile nachwachsender Rohstoffe

1. Ausgangslage

Der Schweizerische Verband für geprüfte Qualitätshäuser VGQ (siehe www.vgq.ch) befasst sich seit über zwanzig Jahren intensiv mit der Weiterentwicklung von nachhaltigen Bauweisesens. Neben einem umfassenden QS-System, setzt dieser Verband auch Forschungs- und Entwicklungsprojekte um.

Während in früheren Jahren insbesondere die Steigerung der Energieeffizienz in der Betriebsphase im Zentrum stand, wird heute der Fokus vermehrt auf den ganzen Lebenszyklus eines Gebäudes gelegt. Das Themen Graue Energie, Treibhausgase sowie Kohlenstoffspeicher gewinnen im Lichte des Klimawandels an Bedeutung.

Um diesen Themen mehr Aufmerksamkeit zu geben, betreibt der VGQ auch seit über zehn Jahren die Internetseite CO₂-Institut (siehe www.co2-institut.ch). Diese Internetseite wurde ursprünglich vom Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen NRW aufgebaut, welcher die analoge Internetseite der 'CO₂-Bank Deutschland' betreibt.

Auf diesen Internetseiten sind Web-Datenbanken, in welchen die Reduzierung des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid (CO₂) durch Objekte und Leistungen der Forst- und Holzwirtschaft dokumentiert werden.

Im Rahmen dieses Referats werden Vorteile der Bauprodukte, welche aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden, thematisiert und ein Bezug zu den Klimazielen des Übereinkommens von Paris hergestellt.

2. Bedeutung der Grauen Energie und des CO₂

Der Bau und Betrieb von Gebäude beansprucht einen bedeutenden Teil des globalen Energiebedarfs und führt zu beträchtlichen Emissionen an Treibhausgasen THG. Beispielsweise die Herstellung von Zement verursacht rund 8% der weltweiten Treibhausgasemissionen¹. Kein anderes Einzelprodukt verursacht mehr.

Verschiedene Länder führen mehr oder weniger detaillierte Statistiken zu ihren Treibhausgasemissionen. Beispielsweise für die Schweiz lassen sich nur Zahlen zu den Emissionen nach Sektoren finden. Laut dem Treibhausgasinventar des Bundesamts für Umwelt BAFU, verursachte der Sektor 'Gebäude' im Jahr 2018 rund ein Viertel der landesweiten Treibhausgasemissionen. Was nach viel tönt, ist aber schon eine wesentliche Verbesserung zum Jahr 1990, in welchem der gleiche Sektor noch deutlich höhere Emissionen verursachte.

Dies hat mehrere Gründe. Einer davon ist die Energieeffizienz von Gebäuden. In diesem Bereich wurde in den letzten drei Jahrzehnten grosse Fortschritte gemacht. Mit den heutigen Technologien im Baubereich, wäre es problemlos möglich, Gebäude zu bauen, welche keine Betriebsenergie benötigen oder sogar Energie abgeben können.

Dies hat jedoch zur Folge, dass immer komplexere Bauweisen und Anlagen nötig werden, bei welchen durch die Herstellung des Materials, sowie im Bauprozess wiederum mehr Graue Energie und Treibhausgasemissionen entstehen. Dadurch hat sich das Verhältnis zwischen dem Energieaufwand in der Nutzungsphase (Betriebsenergie) und dem Energiebedarf für die Herstellung und Entsorgung von Bauprodukten und Gebäuden (Graue Energie) in den vergangenen Jahrzehnten stark verändert. In vielen Fällen wird heute bereits mehr Energie für den Bau eines Gebäudes als für dessen Betriebsphase verwendet.

¹ Beyond Zero Emission (2017): Zero Carbon Industry Plan – Rethinking Cement

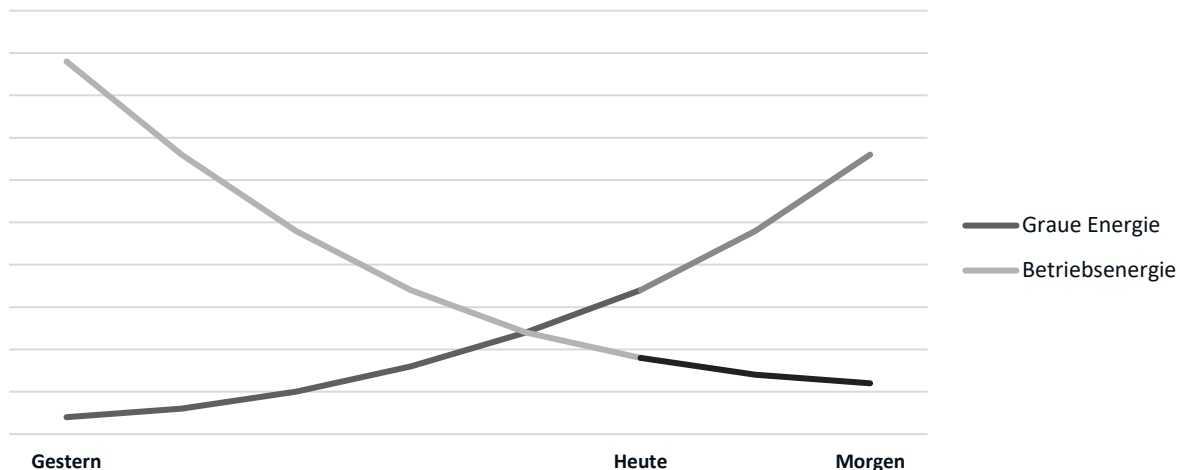


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Entwicklung des Energiebedarfs für den Bau und den Betrieb von Wohngebäuden

Es ist fraglich, ob es sinnvoll ist, den Verbrauch der Betriebsenergie weiter zu optimieren und auf der anderen Seite die Graue Energie und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen nur wenig zu berücksichtigen. Den Energieverbrauch der Betriebsphase noch deutlich unter die gesetzlichen Vorgaben oder gar auf null zu senken, ist zwar möglich, aber sehr aufwendig und teilweise kostenintensiv, während im Bereich der Grauen Energie mit dem architektonischen Entwurf, der gezielten Wahl von Bauweisen und Bauprodukten grosse Einsparpotenziale bestehen würden, die kaum ausgeschöpft werden.

3. Datengrundlage für Baustoffe

Wie bereits erwähnt, ist es wichtig beim Entwurf, der Planung und der Ausführung von Gebäuden die Graue Energie und die Treibhausgasemissionen über den ganzen Lebenszyklus des Gebäudes zu beachten.

Für Baustoffe und Bauprodukte gibt es dazu viele generische oder produktspezifische Informationen. Dazu gehören beispielsweise die Umweltproduktdeklarationen EPD (Environmental Product Declaration) oder auch internationale Datenbanken wie Ecoinvent (siehe www.ecoinvent.org). Solche Quellen sind ohne Hintergrundwissen oft nicht einfach nutzbar, da nicht in allen Grundlagen die gleichen Prozessschritte oder Systemgrenzen berücksichtigt werden. Um diese Grundlagen zu vereinheitlichen, gibt es auch Länderspezifische Listen, die deutlich anwenderfreundlicher sind und Vergleiche überhaupt erst zulassen. In der Schweiz wird oft mit einer staatlichen Liste gearbeitet, welche als Grundlage für verschiedene Anwendersoftware dient. Die 'Ökobilanzdaten im Baubereich' werden vom Bundesamt für Bauten und Logistik BBL kostenlos zur Verfügung gestellt.

Die verschiedenen Datengrundlagen liefern eine Vielzahl von Kennwerten. Diese werden bezogen auf das Gewicht oder auf das Volumen eines Baustoffes angegeben. Im Kontext der Klimadebatte liegt der Fokus insbesondere auf der Grauen Energie (kWh oder MJ), den Treibhausgasemissionen sowie auf dem Kohlenstoffspeicher. Damit die Baustoffe bezüglich ihrer Wirkung auf das Klima vergleichbar sind, werden die diversen Treibhausgasemissionen meist als 'CO₂ Äquivalent' (auch CO₂eq) definiert. Dabei werden die Mengen anderer Gase in die äquivalente Menge von CO₂ umgerechnet.

Auf der Basis von Baustoffkennwerten sind oft keine sinnvollen Vergleiche möglich. So bringt etwa der Vergleich eines Kilogramms Stahl mit einem Kilogramm Beton keine nutzbare Information. Sinnvolle Vergleiche beziehen sich immer auf Produkte, Bauteile, oder auch ganze Gebäude, welche vergleichbare Funktionen erfüllen können.

4. Vergleiche von Bauteilen und Gebäuden

Die ökologische Bewertung von Bauprodukten, Bauteilen oder ganzen Gebäuden gewinnt zunehmend an Bedeutung und wurde auch bei verschiedenen Labels und Baustandards als Kriterium aufgenommen.

Um optimale Resultate erreichen zu können, müssen die ökologischen Kriterien (u.a. wenig Graue Energie, wenig THG-Emissionen, grosse Kohlenstoffspeicher) bereits in den ersten Projektphasen berücksichtigt werden. Bei den ersten Entwürfen wird entschieden, ob die Ausführung anschliessend effizient und klimaschonend umgesetzt werden kann und später auch die Betriebsenergie minimal sein wird. Daher lohnt es sich in frühen Planungsphasen die Variantenstudien, neben den üblichen Kriterien (Ästhetik, Kosten, Nutzen etc.), auch bezüglich der Ökologie zu bewerten.

Wie zuvor erwähnt, ist es bei Vergleichen wichtig, dass Bauteile mit vergleichbaren Funktionen berücksichtigt werden. Werden also beispielsweise Geschossdecken im Wohnungsbau verglichen, müssen die relevanten Eigenschaften wie Tragfähigkeit, Schallschutz oder Brandschutz von allen Varianten erfüllt werden.

In frühen Projektphasen werden Vergleiche oft mit Bauteilkatalogen umgesetzt. Auch da gibt es viele verschiedene Anbieter. Dabei wird beispielsweise die gesamte Aussenwandfläche mit ökologischen Kennwerten (z.B. Graue Energie) multipliziert. Diese Methoden sind stark vereinfacht. In einigen Fällen sind in den Bauteilwerten auch nur die Einzelwerte der verwendeten Bauprodukte aufsummiert, so dass die ganzen Bauprozesse (Transporte zur Baustelle, Montageprozesse etc.) gar nicht berücksichtigt sind. Trotz diesen Vereinfachungen ist schnell ersichtlich, wo in einem Gebäude das grösste Einsparpotential besteht.

In späteren Projektphasen, wo bereits digitale Modelle bestehen, können dann auch genauere Berechnungen umgesetzt werden. Dabei greift die Software auf die zuvor erwähnten Materialkataloge zurück. So können mittels Änderungen der Attribute in den CAD-Programmen auch Vergleiche innerhalb der Bauweisen oder Optimierungen vorgenommen werden.

Im Verlauf der letzten Jahre wurden durch das CO₂-Institut des VGQ viele Vergleiche durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Bauprodukte, welche auf nachwachsenden Rohstoffen basieren, bezüglich Grauer Energie und Treibhausgasemissionen in der Regel besser abschneiden als alternative Produkte. Das Gleiche gilt für Baustoffe, welche ohne grosse Verarbeitungsschritte eingesetzt werden können.

Die Unterschiede sind bedeutend: Vergleicht man beispielsweise Fassadenverkleidungen (inkl. den Unterkonstruktionen) verursacht die ungünstigste Variante bis zu neunmal mehr Grauer Energie als die beste Variante (in diesem Vergleich Schnittholz). Auch bei Bauteilen sind markante Unterschiede zu erkennen. So verursacht beispielsweise eine Aussenwand in Rahmenbauweise halb so viele Treibhausgase wie ein Mauerwerk mit Kompaktfassade. Bei Vergleichen von ganzen Gebäuden werden die Unterschiede kleiner, weil viele Bauprodukte oder Bauteile (z.B. die Fenster) bei den verschiedenen Varianten identisch sein können. Bei Vergleichen von ganzen Gebäuden sind trotzdem regelmässig Differenzen von rund 20% bei der grauen Energie und ca. 30% bei den Treibhausgas-Emissionen zu erkennen.

Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen sowie Bauteile oder ganze Gebäude aus Holz schneiden bei Vergleichen oft besser ab, als alternative Varianten. Die Gründe dafür sind vielfältig. Diese Naturprodukte haben hervorragende Eigenschaften und können oft mit einfachen Methoden zu Bauprodukten umgewandelt werden. So ist der Energiebedarf bei der Herstellung nicht sehr hoch und als Energiequellen werden meist Elektrizität und Biomasse verwendet. Die nachwachsenden Baustoffe sind zudem oft leichter, was zu Vorteilen bei Transporten oder bei der Montage führt. Infolge dieser Materialeigenschaften können Gebäudeteile vorfabriziert und einfach transportiert werden, womit die Graue Energie und die Treibhausgasemissionen tiefgehalten werden. Diese Bauweise reduziert zudem die Bauzeit in den Impact auf die Umwelt (Staub, Lärm etc.) des Bauplatzes. Bei grossen Gebäuden bringen die leichteren Baustoffe auch etliche Einsparungen bei den Fundamenten, welche bekanntlich besonders viel Graue Energie und Treibhausgase verursachen.

Gebäude in Holzbauweise haben zudem den Vorteil, dass sie als Kohlenstoffspeicher wirken. Dabei wird der Kohlenstoff C, den der Baum während der Photosynthese, dem CO₂ aus der Atmosphäre entzogen hat, über Jahrzehnte gebunden.

Die Klimawirkung der C-Speicher im Holz kann aber nicht ohne weiteres objektspezifisch bewertet werden, da der Kohlenstoff am Ende des Lebenszyklus auch wieder in die Atmosphäre gelangen kann (keine Permanenz). Zudem müssen auch die Veränderungen der Waldspeicher berücksichtigt werden. Nur wenn insgesamt mehr Kohlenstoff in das Speichersystem 'Wald und Holz' fließt als herauskommt, können Kohlenstoffsenken erzielt werden. Dies ist aber mit einer intelligenten Bewirtschaftung dieser Speicher erreichbar. So kann mit einer nachhaltigen Holznutzung der Gebäude Speicher kontinuierlich vergrößert werden, ohne dass der Waldspeicher kleiner wird.

5. Bezug zu den Klimazielen des Paris Agreement

Wie zuvor erwähnt, bieten nachwachsende Rohstoffe in verschiedener Hinsicht grosse Vorteile. Die Wahl der Bauweise ist somit relevant und hat bedeutende Einflüsse auf die Graue Energie, die Treibhausgasemissionen und den C-Speicher der Gebäude.

Der ganze Bausektor ist einer der wichtigsten Bereiche, in welchem Massnahmen zum Erreichen der Klimaziele des Paris Agreements umgesetzt werden müssen. Die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden oder die Wahl der Bauweise sind sicher erste wichtige Schritte. Um aber bis 2050 auf 'netto null' zu kommen, braucht es enorme Anstrengungen aller Beteiligten.

So ist beispielsweise der Energieverbrauch bei der Herstellung von Bauprodukten stark zu senken und auf erneuerbare Energien umzustellen. Bei Holzprodukten kann dies wohl erreicht werden, bei der Zementproduktion wird dies aber sehr schwierig. Neben dem grossen Energieverbrauch in der Produktion, welcher meist mit fossilen Energien gedeckt wird, gibt es zusätzliche CO₂-Emissionen aus den chemischen Prozessen. Diese können ja nicht einfach gestoppt werden, womit Lösungen im Bereich CCS (Carbon Capture and Storage) gefunden werden müssten.

Neben den Anstrengungen im Bereich der Herstellung von Bauprodukten müssen auch die Emissionen der Transporte und Bauprozesse stark reduziert und auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden. Dabei kommen auch regionalverfügbare Baustoffe und Unternehmungen vermehrt in den Fokus, was durchaus neue Chancen bringen kann.

Am Ende des Lebenszyklus eines Gebäudes sind sinnvolle Lösungen für die Weiterverwendung der Baustoffe zu finden (das Thema Kreislaufwirtschaft wird im nachfolgenden Referat behandelt). Auch der Umgang mit Hilfsstoffen, Klebstoffen, Lösungsmitteln, Chemikalien, Abfällen oder Verpackungsmaterialien muss analysiert und überdacht werden, da auch diese zu Treibhausgasemissionen führen.

In allen Bereichen kann der Bausektor viele Verbesserungsmaßnahmen umsetzen, jedoch werden die Klimaziele wohl nicht ohne Suffizienz zu erreichen sein. Alles was nicht gebaut wird, verursacht auch keine Treibhausgasemissionen. Die Suffizienz hat nicht nur die grössten Effekte, sondern ist auch die billigste Massnahme. Es ist aber nicht die Meinung, dass man einfach nicht mehr bauen soll. Es geht vielmehr darum, mit möglichst wenigen Ressourcen (Material, Energieaufwand, Platzbedarf etc.) die Bedürfnisse der NutzerInnen von Gebäuden zu befriedigen. Hier sind insbesondere die Bauherrschaft, die Architekten und die Fachspezialisten gefragt, welche sicher interessante neue Baulösungen und Nutzungsformen entwickeln können.

Die nachwachsenden Rohstoffe und Holz im speziellen können einen wesentlichen Beitrag zur Minderung des Klimawandels beitragen. Dabei stehen die Substitutionseffekte (Reduktion der Grauen Energie und der Treibhausgase) sicher im Zentrum.

Kurzfristig können auch 'Senken-Strategien' gute Resultate liefern, langfristig zielführend ist jedoch immer noch eine nachhaltige Holznutzung in Kaskaden resp. mit mehrmaliger Verwendung der Bauprodukte (Kreislaufwirtschaft).

Die optimalen Effekte können jedoch nur durch die integrale Betrachtung von Waldsenken, C-Speichern in Holzprodukten, stofflicher Substitution und energetischer Substitution sowie unter Berücksichtigung von klaren geographischen und zeitlichen Vorgaben erreicht werden.

Mit dem Slogan 'Fit for 55' hat am 14. Juli 2021 die Europäische Kommission ein Paket mit dreizehn Energie- und Klimagesetzen vorgelegt, mit welchen die Klimaziele für 2030 (-55 % Treibhausgasemissionen bezogen auf 1990) und 2050 (netto null Emissionen) erreicht werden sollen. Darin enthalten ist auch 'die EU-Forststrategie' mit detaillierten Regelungen in Bezug auf die Waldbewirtschaftung. Diese Strategie und die Pläne der EU werden von verschiedenen europäischen Verbänden der Wald- und Holzwirtschaft scharf kritisiert, weil befürchtet wird, dass mit Nutzungseinschränkungen vermehrt lebende Waldbestände als Kohlenstoffsinken eingerichtet werden sollen. Diese Kritik ist verständlich, weil dadurch die stofflichen und energetischen Substitutionseffekte verloren gehen und weiter die Gefahr besteht, dass Waldbestände später zu Quellen werden.

Auf den Punkt brachte es Emma Berglund von der schwedischen Branchenorganisation Swedish Forest Industries (SFI) gemäss einem Artikel Neuen Zürcher Zeitung NZZ: *Man begrüsse durchaus, dass die EU-Kommission eine Rolle des Waldes bei nachhaltigem Wirtschaften und der Bekämpfung der Klimaerwärmung sehe. Doch man sei der Ansicht, dass die Forstwirtschaft im Zentrum einer zirkulären Bioökonomie stehen solle, statt als Kohlenstoffsinke an deren Rand gedrängt zu werden und anderen Industrien eine Rechtfertigung dafür zu liefern, weiterhin Treibhausgase zu emittieren.*

Holz – ein zirkulärer Baustoff

Ergebnisse des EU Forschungsvorhabens RE⁴ und deren Umsetzung in der Büropraxis

Andrea Klinge
ZRS Architekten Ingenieure
Berlin, Deutschland



Eike Roswag-Klinge
Natural Building Lab, Universität Berlin
ZRS Architekten Ingenieure
Berlin, Deutschland



Holz – ein zirkulärer Baustoff

1. Einleitung

In 2018 trug der Bausektor in Deutschland mit fast 600 Millionen Tonnen Bau- und Abbruchabfällen erheblich zum nationalen Abfallaufkommen bei [1]. Die europäische Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG) sah bis 2020 eine Reduzierung von nicht gefährlichen Abfällen aus Gebäudeabbruch um 70% (nach Gewicht) vor [2]. Auch wenn Recyclingraten in den letzten Jahren auf mehr als die geforderten 70% gesteigert werden konnten, so wird ein Grossteil der rezyklierten Materialien nach wie vor in minderwertigen Anwendungen (Strassenbau, Verfüllung von Baugruben) eingesetzt oder thermisch verwertet [3]. Zudem werden beträchtliche Mengen von Gebäudeabriss auch weiterhin deponiert, da die Demontage von Gebäuden bei deren Planung nicht berücksichtigt wurde. Vor allem der Rückbau von Holzelementen wie Stützen, Balken, Holzböden etc. aus Bestandsgebäuden macht deutlich, dass die Idee des kreislaufgerechten Bauens von der Baubranche bislang nicht ausreichend umgesetzt wird. Um zeitaufwändige Untersuchungen bezüglich des Einsatzes von Holzschutzmitteln zu vermeiden, werden Holzelemente in der Regel in die Altholzkategorie AIV eingeordnet. Dies impliziert die Entsorgung in Müllverbrennungsanlagen als übliche „Verwertungsmethode«. In der Folge geht nicht nur hochwertiges Holz für zukünftige Anwendungen im Baubereich und anderen Sektoren verloren, auch das im Bauteil gespeicherte CO₂ wird frühzeitig wieder freigesetzt. Die Baubranche benötigt dringend innovative Konzepte um das kreislaufgerechte Bauen zu stärken, die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen zu minimieren und die ambitionierten Ziele der Europäischen Union zu erreichen.

Diese Veröffentlichung präsentiert die Ergebnisse des europäischen Forschungsvorhabens RE⁴ in Bezug auf die Wiederverwendung von Holzabbruch im Bausektor. Zudem werden Projekte dargestellt die Ansätze des RE⁴ Forschungsvorhabens in der Praxis umsetzen.

2. Voraussetzungen

Wenngleich Holz neben Lehm einer der wenigen Baustoffe ist, der einzigartige Möglichkeiten für eine direkte Wieder- oder Weiterverwendung ohne grossen Energieeinsatz bietet, wird Altholz bislang nicht als Ressource gesehen, sondern hauptsächlich der energetischen Verwertung zugeführt (Abbildung 1). Der Zugang zu günstigem Frischholz, geringe Entsorgungskosten, metallische Verunreinigungen und zeitaufwändige Nachweismethoden für die Anwendung von Holzschutzmitteln sind derzeit die Hauptgründe warum im Holzbau der kreislaufgerechte Ansatz aktuell so wenig verfolgt wird. Soll Altholz für Bauzwecke wiederverwendet oder rezykliert werden, so müssen die folgenden Voraussetzungen erfüllt sein. Wiedergewonnene Hölzer müssen frei sein von:

- Holzschutzmitteln;
- anderen Schadstoffe, die aus früheren Nutzungen stammen und möglicherweise in das Holz eingedrungen sind;
- holzerstörenden Pilzen und Insekten;
- Metallverunreinigungen, die Maschinen zur Wiederaufbereitung beschädigen könnten

Zudem müssen die gewonnenen Elemente eine ausreichende Festigkeit sowie ausreichend grosse Querschnitte und Längen aufweisen.

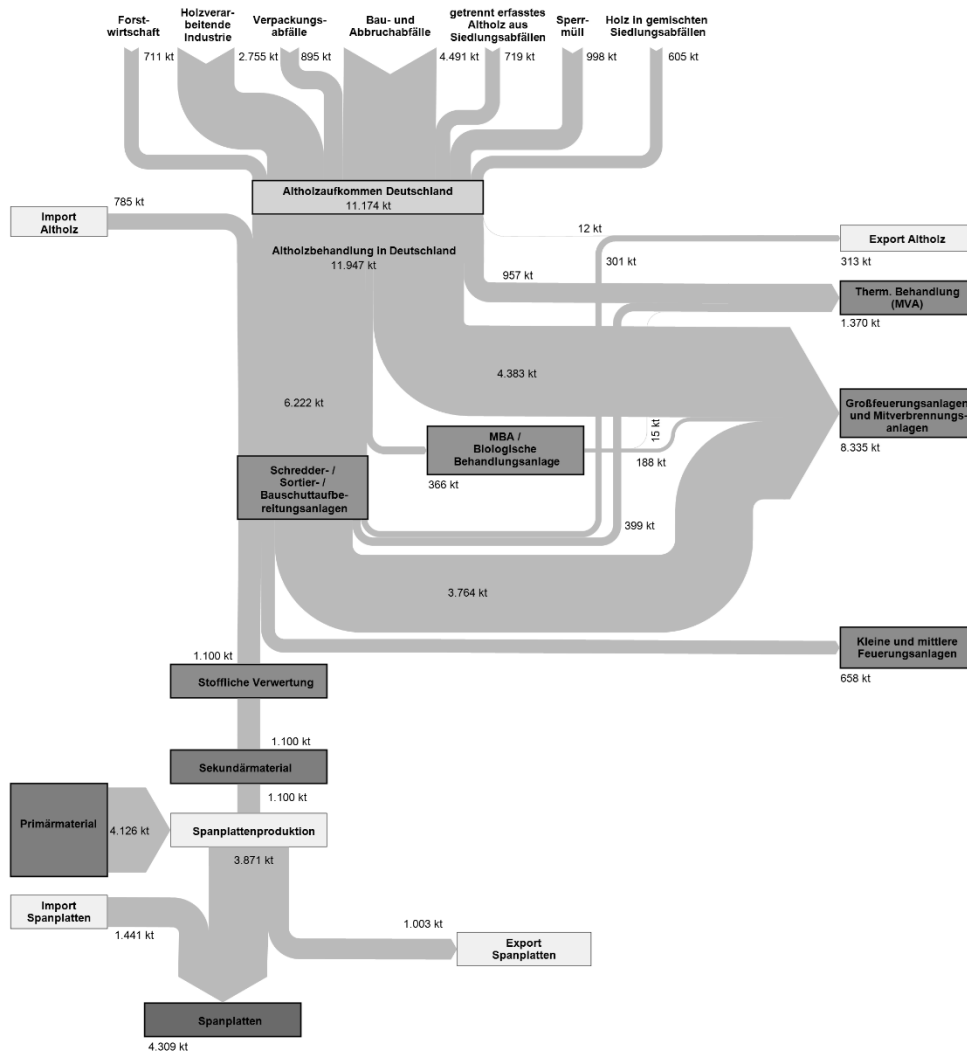


Abbildung 1: Stoffströme Altholzverwertung in Deutschland in 2015 [4]

2.1.1 Holzschutzmittel

Die Altholzverordnung regelt den fachgerechten Umgang mit Altholz und sieht den Nachweis der Schadstofffreiheit von verbotenen Substanzen vor, um eine Wiederverwendung oder Wiederverwertung zu ermöglichen [5]. Da es am Markt bislang keine umfänglichen In-Situ Tests gibt, werden Materialproben an Bauteilen entnommen (Abbildung 2) und von einem zertifizierten Labor untersucht. In den Fällen, in denen Holzschutzmittel nachgewiesen werden, kann anhand der Eindringtiefe definiert werden, wieviel vom Holzquerschnitt durch Sägen entfernt werden muss, um das Altholz nicht der thermischen Verwertung zuführen zu müssen.

2.1.2 Schadstoffe und Störstoffe aus früheren Nutzungen

Wurden in einem Gebäude Schadstoffe eingetragen, muss mittels geeigneter Untersuchungen nachgewiesen werden, dass das Holz, welches wiederverwendet oder rezykliert werden soll, nicht verunreinigt ist.

2.1.3 Metallische Verunreinigungen

Metallische Verunreinigungen sind einer der Hauptgründe warum sich die Wiederverwendung und das Recycling von Altholz bislang nicht etabliert hat. Werden solche Einschlüsse nicht detektiert, können sie Holzbearbeitungsmaschinen erheblich beschädigen. Im Rahmen des RE⁴ Projektes wurden daher sämtliche Altholzabschnitte mit einfachen Metalldetektoren auf Metallverunreinigungen untersucht und diese anschliessend mit Handwerkzeugen entfernt (Abbildung 3).

2.1.4 Festigkeitssortierung

Altholz, das für tragende Bauteile verwendet werden soll, muss nach harmonisierten Normen [6], [7], [8] und nationalen Regeln in Bezug auf seine Festigkeit sortiert werden. Um das Holz zu kategorisieren, wurden In-Situ-Inspektionen durchgeführt, verfügbare Abschnitte in Bezug auf seine Abmessungen aufgenommen sowie das Ausmass an Mängeln und Schäden festgestellt. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden die Hölzer vor Ort sortiert und für die weitere Aufbereitung und Festigkeitsklassifizierung getrennt. Sämtliche Verunreinigungen (Farben, Beschichtungen usw.) wurden entfernt, um sauberes Rohmaterial zu erhalten, das in rechteckige Querschnitte geschnitten und gehobelt wurde. Da der Zugang zu einer Trockenkammer nicht gegeben war, konnte das Holz nicht technisch getrocknet werden. Der durchschnittliche Feuchtigkeitsgehalt von 20%, der für die Festigkeitsklassifizierung erforderlich ist, wurde somit nicht immer erreicht.



Abbildung 2: Altholz für die Wiederverwertung



Abbildung 3: Metalldetektor

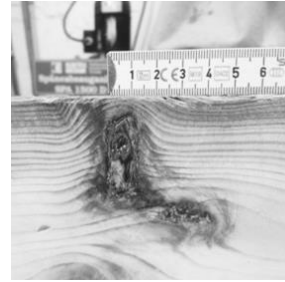
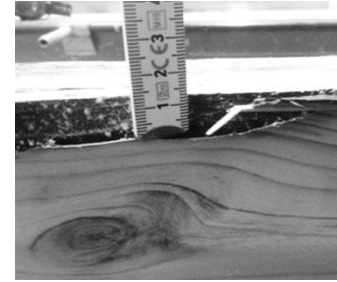


Abbildung 4: Festigkeitsklassifizierung: Beurteilung von Fehlstellen, Zerfall, Rissen, Aufnahme Abmessungen, Lage + Ausrichtung von Ästen



Die eigentliche Festigkeitssortierung wurde an abgerichteten und gehobelten Holzlamellen durchgeführt, die hinsichtlich Abmessungen und Lage von Rissen, Ästen und Zerfall bewertet wurden (Abbildung 4). Die Einteilung nach DIN 4074-1: 2012 [9] in die jeweiligen Sortierklassen ergab wiederum die jeweilige Festigkeitsklasse nach EN 338: 2016 [10]. Weitere Anforderungen die für Brettschichtholz gelten und in übergeordneten Normen geregelt sind, wurden bei der weiteren Herstellung der Bauteile angewendet [8]. Aus den einzelnen Lamellen wurden Stützen sowie Schwelle und Rähm für ein nicht-tragendes Fassadenelemente gefertigt.

3. Entwurfskonzepte

3.1. Tragende Holzbalken und -stützen

Die allgemeine Konzeption für tragende Holzelemente für die Tragkonstruktion von Holzbauwerken entspricht der Norm EN 14080: 2013 [8] und folgt dem Prinzip von Brettschichtholz, bei dem einzelne Lamellen miteinander verbunden werden. Leimfreie Verbindungen einzelner Lamellen die im Rahmen des Projektes ebenfalls untersucht wurden, werden in dieser Studie nicht näher erläutert. Das Entwurfskonzept für die Bauteile verfolgt die Idee der Maximierung und Optimierung von Nutzabschnitten aus Altholz (Abbildung 5).

Für den Bau der Elemente wurden Risse aus den gewonnenen Lamellen herausgeschnitten und die sich ergebenden Abmessungen für den Einsatz in Trägern und Stützen bewertet. Lamellen mit den Abmessungen 4/6/12 cm x 4 cm wurden in vertikaler und horizontaler Richtung verleimt. (Abbildung 6 - Abbildung 8).

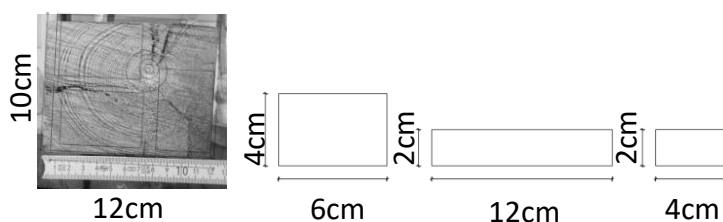


Abbildung 5: Materialeffiziente Aufteilung des gewonnenen Altholzes

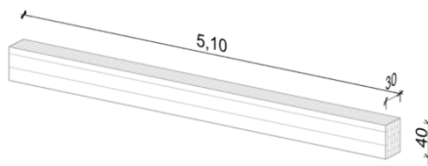


Abbildung 6: Designkonzept für Brett-schichtholzbalken aus Altholz

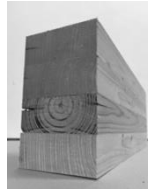


Abbildung 7: Brettschicht-holzbalken

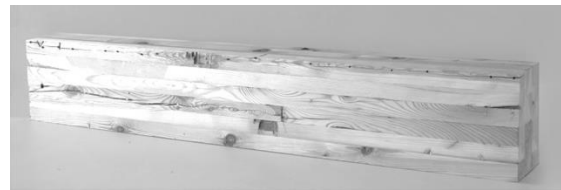


Abbildung 8: Brettschichtholzbalken, Lamellen-verbund in vertikaler und horizontaler Richtung

3.2. Nicht lastabtragendes, vorgefertigtes Fassadenelement aus Altholz

Das Konzept für ein vorgefertigtes, reversibles, hinterlüftetes Fassadenelement aus Altholz sieht eine nichttragende Holzrahmenkonstruktion vor. Ein selbsttragendes Holzständersystem ist beidseitig mit Holzfaserverplatten bekleidet. In bestimmten Lastfällen kann aus statischen Gründen eine aussteifende Bekleidung wie z.B. eine Diagonalschalung erforderlich sein, die die innenseitige Holzfaserverplatte ersetzt. Das Element ist mit einer Einblasdämmung ausgedämmt, die auf rezyklierten Holzspänen oder -fasern basiert. Die Wetterschale wird mit Schrauben an einer Unterkonstruktion aus Latten befestigt, um eine spätere Demontage zwecks Wartung oder Reparatur zu ermöglichen. Ein Lehmputz auf Basis von rezyklierten Zuschlagstoffen wird als Endbeschichtung innenseitig verwendet, um ein gesundes und angenehmes Raumklima zu erzeugen. Sämtliche Verbindungen sind entweder verschraubt oder als Zimmermannsverbindungen gesteckt. Abbildung 9 zeigt das Gestaltungskonzept für das vorgefertigte Holzfassadenelement sowie die einzelnen Komponenten.

Ähnlich wie bei den Trägern und Stützen zielt die Konstruktion darauf ab, den Materialverbrauch für das Bauteil zu minimieren. Darüber hinaus verfolgt das Konzept den Ansatz einer Kaskadennutzung und untersucht Möglichkeiten zur Verwendung von Holzabschnitten aus der Aufbereitung und Fertigung für die Herstellung anderer Bauteilkomponenten. Exemplarische Untersuchungen zum Ausgangsmaterial (Abbildung 10) und zu möglichen nutzbaren Abschnitten (Abbildung 11) nach dem Zuschnitt wurden an Bohlen aus dem Rückbau einer Binderkonstruktion durchgeführt, die die Hauptquelle für die Herstellung des Fassadenelements darstellten. Zunächst wurden die Bohlen von metallischen Einschlüssen gereinigt, abgerichtet und gehobelt. In einem zweiten Schritt wurden die benötigten Profile für die Bauteile zugeschnitten. Im Ergebnis entstanden verschiedene nutzbare Querschnitte, Abschnitte, Sägespäne und auch Sägemehl. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Abschnitte sowie Einzelheiten zu Abmessungen und Mengen. Für die statisch wirksamen Komponenten des Bauteils (Schwelle, Rähm, Ständer) wurden grössere Abschnitte verwendet, während kleinere Abschnitte als Wetterschale zum Einsatz kamen. Es ist vorgesehen, bei der Herstellung der aussteifenden Ebene (Holz-, Hartfaser-, oder OSB-Platten) Holzspäne oder Sägemehl und für die Dämmebene Hobel-späne oder Holzfasern (Holzweichfaserdämm-matten) zu verwenden. Kleinere Abschnitte können für die Herstellung von Holzweichfaserplatten genutzt werden. Da die Produktion von aussteifenden Platten nicht im Projekt vorgesehen war, wurden für diese Komponenten vorerst handelsübliche Produkte eingesetzt.

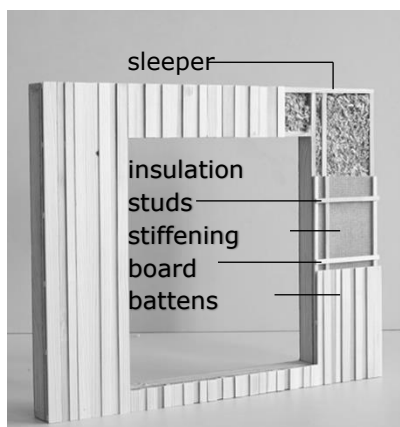


Abbildung 9: Design Konzept für Fassadenelement, Model: M. 1:20

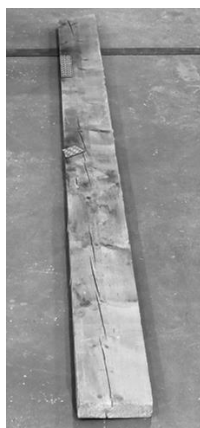


Abbildung 10: Ausgangsmaterial (Bohle)



Abbildung 11: Mengen an nutzbarem und nicht nutzbarem Material

Wenn das Fassadenelement das Ende seines Nutzungszyklus erreicht hat, kann es komplett oder einzelne Komponenten wiederverwendet werden. Die Wetterschale kann beispielsweise demontiert und abgerichtet werden, um verwitterte Schichten zu entfernen. Diese Resthölzer können dann weiter aufgespannt und für die Produktion von Grobspan-, Holzweichfaserplatten oder -matten recycelt werden. Die statisch wirksamen Komponenten bieten ein ähnliches Potenzial für eine solche Holzkaskade.

Tabelle 1: Mengen des verwendbaren Materials nach dem Reinigen und Besäumen

Abschnitt	Länge in dm	Breite in dm	Höhe in dm	Vol. in dm ³³	Vol. in %
Gesamt	32.9	2.35	0.558	43.14	100
Nutzbares Holz 1 (UW 1)	22.5	1	0.5	11.25	26
Nutzbares Holz 2 (UW 2)	19.73	0.92	0.55	9.98	23
Nutzbares Holz 3 (UW 3)	26	0.48	0.18	2.25	5
Restholz (Metall) (OC 1)	6.35	2.35	0.58	8.66	20
Restholz 2 (Metall) (OC 2)	6	0.95	0.58	3.31	8
Restholz 3 (Querschnitt) (OC 3)	4.1	1	0.5	2.05	5
Restholz 4 (Längsschnitt) (OC 4)	27.2	0.05	0.53	0.72	2
Restholz 5 (Querschnitt) (OC 5)	0.25	0.48	0.18	0.02	0.5
Restholz 6 (Längsschnitt) (OC 6)	26.7	0.05	0.22	0.29	0.5
SUMME				38.53	90
Sägemehl				4.61	10
				25 Liter / 1.74 kg	

Für die Produktion von materialeffizienten Ständern wurden verschiedene Designkonzepte entwickelt (Abbildung 13 - Abbildung 15). Ein Fachwerkständer ermöglicht die optimierte Nutzung verschiedener Holzquerschnitte aus der Bearbeitung von Altholz. Die Abmessungen und Anordnung der einzelnen Stäbe und Bretter werden nach statischen Berechnungen festgelegt, wobei die Größe der gewonnenen Querschnitte und die mögliche Unterteilung berücksichtigt werden (Abbildung 12). Für Schwelle und Rähm wurden massive Profile hergestellt.

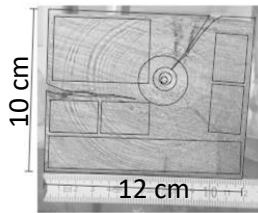


Abbildung 12: Rückgebaute Holzstütze, Unterteilung für materialoptimierte Ständer

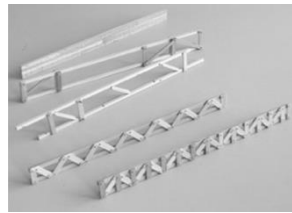


Abbildung 13: Modelle M 1:20 für materialeffiziente Ständer



Abbildung 14: Fachwerkständer, Stäbe mit unterschiedlichen oder gleichen Querschnitten, exzentrisch montiert



Abbildung 15: Fachwerkständer, Stäbe mit unterschiedlichen Querschnitten, zentrisch montiert

Für die endgültige Fertigung des Fassadenpaneels wurden die statisch wirksamen Komponenten (Schwelle, Rähm, Ständer) auf Basis üblicher Holzbauraster zu einem Rahmen zusammengefügt. Der Rahmen wurde aussenseitig mit einer Holzfaser- bzw. innenseitig mit einer Hartfaserplatte beplankt, um die erforderliche Steifigkeit für das Element zu gewährleisten. Im nächsten Schritt wurde die Einblasdämmung eingebracht und eine finale Holzfaserplatte als Putzträger innenseitig auf die Hartfaserplatte aufgebracht (Abbildung 16 – Abbildung 17). Als finaler Schritt wurde die Wetterschale an einer Tragkonstruktion aus Latten und Konterlatten befestigt (Abbildung 18). Der rezyklierte Lehmputz wird auf der Baustelle aufgetragen. Reversible Verbindungen wurden mit Hilfe von Schrauben hergestellt. Um zukünftig die Anzahl der Metallbefestigungen zu minimieren sollen in einem nächsten Schritt Zimmermannsverbindungen zum Einsatz kommen.



Abbildung 16: Holzrahmen mit Ständern, Einbringen der Einblasdämmung



Abbildung 17: Befestigung der Holzweichfaserplatten (aussenseitig)



Abbildung 18: Wetterschale

3.3. Reversible Verbindungen

Reversible Verbindungen auf Komponenten- und Elementebene sind von zentraler Bedeutung, wenn es um die Wiederverwendung und das Recycling von Bauteilen geht. Im Rahmen des Projektes wurden dazu verschiedene Untersuchungen auf Komponenten- und Elementebene durchgeführt. Es wurden verschiedene Holzverbindungen (Zimmermannsverbindungen) oder Metallverbindungen getestet. Für Eckverbindungen des Rahmens (Fassadenelement) wurden erste Versuche mittels Schwalbenschwanzverbindungen durchgeführt (Abbildung 19 – Bild 20). Für die Verbindung von tragenden Elementen wurden am Markt verfügbare Verbindungen in Betracht gezogen, die praktikable Optionen bieten (Abbildung 21 – Abbildung 22).

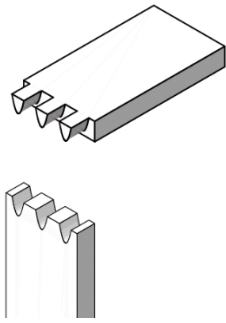


Abbildung 19:
Zimmermanns-Ver-
bindung (Schwalben-
schwanz)



Abbildung 20:
Geschraubte Verbindung
Fassadenelement



Abbildung 21:
Geschraubte Verbindung
Stütze - Fundament



Abbildung 22:
Reversibler Balken-
schuh (© Sherpa)

4. Design Konzept für ein zirkuläres Gebäude

Das Entwurfskonzept für ein reversibles Gebäude konzentriert sich auf die Lebensdauer verschiedener Gebäudeteile und ermöglicht sinnvolle Systemtrennungen zwischen Bauteilen mit unterschiedlicher Lebensdauer, so dass Elemente mit einer deutlich kürzeren Lebensdauer relativ einfach gewartet oder ausgetauscht werden können. Darüber hinaus sollen ein hohes Mass an Flexibilität, ausreichende Deckenhöhen und Adaptionsmöglichkeiten die Nutzungsdauer eines Gebäudes erhöhen (Abbildung 23). Obwohl Bauelemente modular aufgebaut sind, weisen sie unterschiedliche Grössen auf und müssen so ausgelegt sein, dass sie in zukünftigen Anwendungen leicht zerlegt und wiederverwendet werden können. Darüber hinaus folgen sie dem Konzept der Materialreinheit oder ermöglichen eine einfache Demontage, sodass verschiedene Komponenten getrennt und bei Bedarf wiederverwendet oder rezykliert werden können [11]. Darüber hinaus sollen durch die Verwendung hochwertiger Materialien die Haltbarkeit sowie die Lebensdauer des Bauteils und damit auch des Gebäudes weiter erhöht werden.

Der Entwurf sieht eine Konstruktion in Form eines Holzskeletts mit reversiblen Verbindungen in Kombination mit einem aussteifenden Kern und einem nicht tragenden Holzfassadensystem vor (Abbildung 24). Alle Elemente und Komponenten sind aus Altholz gefertigt. Das Stützensystem bietet bei Grundrissgestaltung ein Höchstmass an Flexibilität (Abbildung 26). Das nicht tragende Fassadensystem ermöglicht einen vollständigen Austausch der Bauteile, sollten diese das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben oder bei einem Nutzungswechsel des Gebäudes eine andere Konfiguration erforderlich sein. Für alle Verbindungen sind reversible Verbindungen geplant, die noch weiter untersucht werden müssen. Es wird davon ausgegangen, dass sie entweder als Zimmermannsverbindungen oder durch reversible Metallverbindungen realisiert werden können.

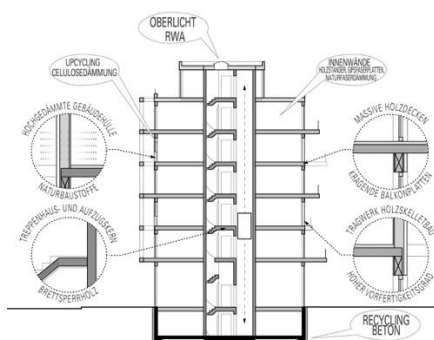


Abbildung 23: Entwurfskonzept für
ein reversibles Holzskelettbauwerk



Abbildung 24: Skelettkonstruktion mit aussteifendem
Kern



Abbildung 25: Adaptierbare
Grundrisse bieten ein hohes Mass
an Flexibilität

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1. Voraussetzungen

Inspektionen vor Ort haben sich als geeignete Strategie erwiesen, um festzustellen, ob vorhandene Holzkonstruktionen für eine direkte Wiederverwendung oder ein Recycling geeignet sind. Obwohl bei gereinigten Holzteilen standardmässig eine Festigkeitsbewertung durchgeführt wird, lieferten erste Beurteilungen vor Ort zuverlässige Ergebnisse hinsichtlich der allgemeinen Tragfähigkeit der verbauten Holzbauteile und -elemente. Darüber hinaus konnte durch Labortests festgestellt werden, dass nicht alle Konstruktionen mit Holzschutzmitteln behandelt wurden, so dass das Altholz direkt wiederverwendet werden konnte. In-Situ-Untersuchungen waren auch zur Beurteilung von Insekten- und Pilzbefall geeignet. Mittels einfacher Metalldetektoren konnten alle Metallverunreinigungen identifiziert werden. Die endgültige Festigkeitsklasse des bewerteten Holzes erreichte entweder C16 oder C24, was für die Entwicklung von konstruktiven Holzelementen geeignet ist.

5.2. Material- und Entwurfskonzept für lastabtragende Holzelemente

Das Material- und Gestaltungskonzept für tragende Holzelemente konnte erfolgreich umgesetzt werden. Eine materialeffiziente Konstruktion könnte durch die Anwendung standardisierter Grössen für Lamellen erreicht werden. Risse und Äste wurden ohne grössere Materialverluste entfernt. Industriell gefertigte Keilzinkenverbindungen sind zwar nicht getestet worden, es wird jedoch davon ausgegangen, dass diese die Nutzung kürzerer Abschnitte und deren Addition zu langen Lamellen ermöglichen. Die Verwendung von Leim zum Verbinden von Einzellamellen hat sich als sehr zeit- und kosteneffizient erwiesen und liefert auch für Altholz kraftschlüssige Verbindungen. Da gefertigte Elemente nach DIN 68800 der Verwendungsklasse 0 zugeordnet werden können, ist der Einsatz von Holzschutzmitteln nicht erforderlich [12].

5.3. Material- und Entwurfskonzept für ein nicht-lastabtragendes, vorgefertigtes Holzfassadenelement

Das kaskadische von Altholz für das Fassadenelement erscheint sehr vielversprechend. Die Materialmenge, die aus Brettern rezykliert werden konnte, summierte sich nach Gewicht auf rd. 90%. Nagelplattenbinder wurden aus Zeitgründen vollständig herausgeschnitten. Obwohl bisher nur Vollprofile hergestellt wurden, scheint die Verwendung von Abschnitten für die Herstellung anderer Bauteile eine praktikable Lösung zu sein. Die Industrie folgt diesem Konzept bereits, allerdings auf Basis von Frischholz. Das Konzept für materialeffiziente Ständer lieferte ebenfalls vielversprechende Ergebnisse. Dieser Ansatz war jedoch zeitaufwendiger als die Herstellung von massiven Alternativen. Die Herstellung des finalen Elements wurde vollständig mit Handmaschinen ausgeführt. Ähnlich wie Balken und Stützen kann das Fassadenelement aufgrund besonderer konstruktiver Massnahmen gemäss [12] nach DIN 68800 in die Nutzungsklasse 0 eingestuft werden. Daher ist der Einsatz von Holzschutzmitteln nicht erforderlich. Der Wirkungen auf die Umwelt hinsichtlich der Verringerung der Umweltbelastung durch Wiederverwendung und Recycling von Altholz wird derzeit untersucht.

Erste Studien wurden bislang nur im Labor durchgeführt. Beide Konzepte, Holz in Holz aber auch Metallverbindungen, sind jedoch geeignet, um reversible Verbindungen auf Bauteil- aber auch Elementebene zu ermöglichen. Zimmermannsverbindungen waren aufgrund des Mangels an geeigneten Maschinen zeitaufwändiger. Zusätzliche Studien und Tests sind erforderlich, um Lösungen für die verschiedenen Anwendungen zu untersuchen und bereitzustellen. Die bisherigen Ergebnisse ermöglichten jedoch die vollständige Demontage von Elementen und Bauteilen.

5.4. Entwurfskonzept für ein reversibles Gebäude

Die Skelettbauweise zeichnet sich durch ein höheres Mass an Flexibilität aus. Auch die Möglichkeit der Trennung der unterschiedlichen Elemente nach ihrer Lebensdauer scheint die Nutzungsdauer von Gebäuden zu verlängern. Die Verwendung von Holz im Bauwesen

bietet im Allgemeinen ein deutlich höheres Potenzial für kreislaufgerechte Gebäude im Vergleich zu massiven Konstruktionen. Zum einen ist der Baustoff Holz sehr viel leichter und ermöglicht zudem trockene Verbindungen. Darüber hinaus ist das Konzept der Materialreinheit für tragende Bauteile sehr viel einfacher zu erreichen, da Holz Druck-, Zug- und Scherbelastungen aufnehmen kann.

In Bezug auf die Lebensdauer der entwickelten Einzelemente wird erwartet, dass die Verwendung von Altholz, das im Vergleich zu heutigem Holz unter weniger Umweltbelastungen gewachsen ist, die Lebensdauer der einzelnen Elemente und damit des gesamten Gebäudes verlängert. Diese These muss jedoch durch weitere Untersuchungen überprüft werden.

6. Praxisbeispiele

6.1. Neubau Konrad-Zuse-Schule, Berlin

Das neue Werkstattgebäude setzt die Ergebnisse des RE⁴ Projektes in Bezug auf ein reversibles Tragwerk um. Der Neubau ergänzt das gründerzeitliche Schulgebäude, bildet einen gemeinsamen, baumbestandenen Pausenhof und eine neue strassenseitige Adresse für den Berufsschulstandort. Das Gebäude verdichtet so einen innerstädtischen Standort nach und beugt der Erschließung von neuem Bauland vor. Der zweigeschossige Holzbau beherbergt im Erdgeschoss Maschinenräume und im Obergeschoss Handarbeitsplätze für verschiedene Berufsgruppen.

Das Gebäude wurde in ressourcengerechter Weise geplant und realisiert. Die Innovation liegt in der ressourcenpositiven Errichtung der Gebäudehülle. Bezogen auf den Betrieb wurde eine hochgedämmte klimaaktive und diffusionsoffene Gebäudehülle aus nachwachsenden Rohstoffen realisiert, die auf Lüftungstechnik im Wesentlichen verzichten kann und so eine LowTech Bauweise ermöglicht. Aktuell ist das Gebäude an die Nahwärme der Schule angeschlossen, die noch nicht klimaneutral versorgt wird. Würde man das Gebäude mit einer eigenen Wärmepumpe ausstatten und über die hauseigenen PV versorgen wäre das Gebäude in der Jahresbilanz klimaneutral im Betrieb.

Das kreislaufgerechte Holzbaukonzept basiert auf den folgenden drei Prinzipien:

1. Langfristige Um- und Nachnutzbarkeit – Skelettbauweise
2. Kaskadische Wiederverwendung vom Bauelement bis zum Baustoff – reversible Konstruktion
3. Verzicht auf ressourcenintensive Baustoffe wie Beton – Nutzung nachwachsender Rohstoffe

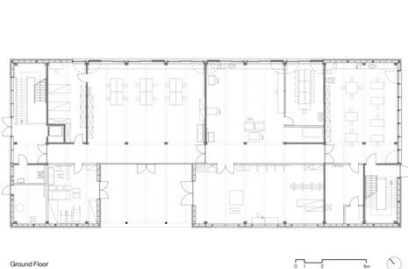


Abbildung 26: Grundriss EG

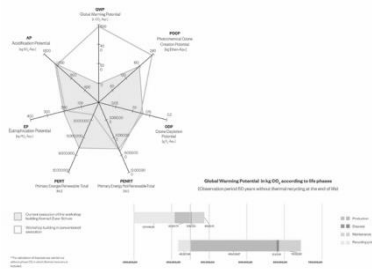


Abbildung 27: Ökobilanz

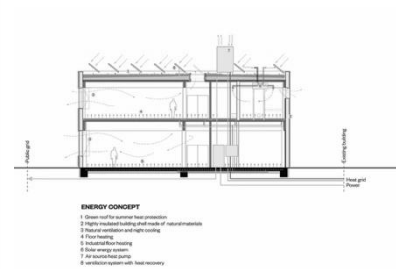


Abbildung 28: Klimaschnitt

6.1.1 Langfristige Um- und Nachnutzung – Skelettbau

Das Gebäude ist als Holzskelettbau auf einer Grundfläche von ca. 44,5 x 19 m errichtet. Zwei Stützenreihen an den Aussenwänden und eine Mittelachse ergeben eine Deckenspannweite quer zum Gebäude von 9 Metern. Die Lasten der Längsträger werden über Stützen im Raster von 4,5 m abgetragen. Die Deckenbalken sind seitlich über reversible Verbinder an den Längsträger angebunden und schliessen unterkannten-gleich mit diesem ab. Die sich ergebende Konstruktionshöhe des Tragwerks wird zur Führung technischer Anlagen und zur Anordnung von Akustikelementen, Beleuchtung etc. genutzt.

Die Queraussteifung übernehmen die Treppenhauskerne an den Gebäudequerseiten und zusätzliche Querwände aus Brettsper Holz. Die Deckenplatten bestehen ebenfalls aus aufgelegten Brettsper Holzplatten. Das so erzeugte raumbildende Skelett-Tragwerk ist langfristig flexibel, um- und nachnutzbar und ermöglicht theoretisch eine unendliche Nutzungsdauer. Den vertikalen Raumabschluss bilden nichttragende Fassadenelemente, die aussenseitig vor das Tragwerk gehängt sind. Der Innenausbau besteht aus nichttragenden Innenwänden.

Bei dem Gebäude handelt es sich um einen Sonderbau, welcher in die Gebäudeklasse 3 eingestuft ist. Die geforderte Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden und aussteifenden Bauteile wird durch den Tragwerksplaner über Abbrand nachgewiesen. Durch die einfache, klare Wegführung zweier baulicher

Rettungswege und eine Unterteilung in Teilnutzungseinheiten, kann die Holz-sichtigkeit in den Treppenträumen realisiert werden. Nur die Treppenläufe wurden als Betonfertigteile ausgeführt.



Abbildung 29: Konstruktion Module

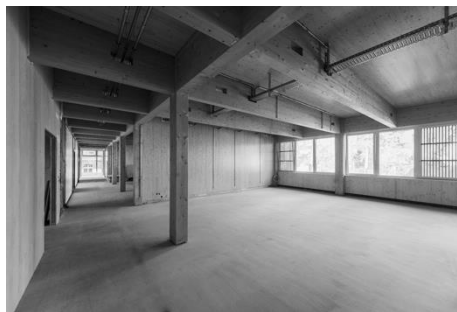


Abbildung 30: Werkhalle EG, Rohbau nach Fertigstellung



Abbildung 31: Detail

6.1.2 Kaskadische Wiederverwendung vom Bauelement bis zum Material – Reversible Konstruktion

Das Skelett des Tragwerkes, also Stützen und Unterzüge/ Deckenbalken sind mit verdeckten Schwerlastverbinder verbunden. Diese Metallverbinder werden über Haken eingehängt und mit einer Schraube in der Lage gesichert. Die queraussteifenden Brettsper Holz-scheiben und Treppenhauskerne sind über Schrauben verbunden. Diese Verbindungsarten ermöglicht eine langfristige Reversibilität des Tragwerkes. So liesse sich das Tragwerk theoretisch als Ganzes oder in Teilen translozieren und wiederverwenden. Auch eine Wiederverwertung der Holzelemente in anderer Konfiguration ist in Zukunft möglich.

Die nichttragenden, vorgehängten Aussenwände bestehen aus Holzwerkstoffen und eingblasener Naturfaserdämmung. Alle Verbindungen sind mechanisch lösbar hergestellt. Auch die Aussenwand kann mit dem Gebäude transloziert, um- und nachgenutzt bzw. bei einer Rekonfiguration wiederverwertet werden. Die nichttragenden Innenwände wurden aus Kostengründen als Gipsfaserwände mit Naturfaserdämmung erstellt. Die Gebäudetechnik wurde als sichtbare Installation ausgeführt. Dies ermöglicht eine gute Revisionierbarkeit.



Abbildung 32: Neubau mit Bestandsgebäude und Außenanlagen



Abbildung 33: Große Werkstatt im Erdgeschoss



Abbildung 34: Werkstatt zur Strassenseite

6.1.3 Verzicht auf ressourcenintensive Baustoffe wie Beton – Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Beton wurde nur für das erdberührende Bauteil, also die Bodenplatte, die Treppenläufe und als Estrich eingesetzt. Das Tragwerk und die Gebäudehülle wurden weitestgehend aus Holz und Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen errichtet.

Die Bodenplatte ist flügelgeglättet, bildet also den abschliessenden Bodenaufbau in die eine wasserbasierte Bauteiltemperierung integriert ist. Das Tragwerk ist aus hochleistungsfähigem Brettschichtholz und Brettsperrholz errichtet. Die Aussenwände sind schichtenarme, vorgehängte nichttragende Holztafeln. Die nichttragenden Innenwände sind klassische Metallständerwände mit Gipsfaserbekleidungen die mit Holzfaserplatten gedämmt sind. Im Gebäude kam bis auf den Bereich von Durchbrüchen wo Mineralwolle Pflicht Naturfasern als Dämmstoff zum Einsatz.

Im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse LCA wurde das realisierte Gebäude mit einem konventionellen Gebäude in Stahlbetonbauweise verglichen (e-LCA). Das konventionelle Gebäude hat im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ein Global Warming Potential (GWP) von 600 Tonnen t CO₂-Äqv. Die realisierte Holzbauvariante hat in der Summe ein GWP von -300 Tonnen t CO₂-Äqv. führt also zu einer CO₂ Senke wenn das Holz am End of Life nicht der thermischen Verwertung zugeführt, sondern in Nutzung verbleibt.

6.2. Experimentalgebäude Infozentrale auf dem Rollberg

Das von Studierenden am Natural Building Lab der TU Berlin 2017/ 18 entwickelte Gebäude basiert auf den Ergebnissen des oben beschriebenen Forschungsvorhabens RE⁴. Die Studierenden haben in ihrem Entwurfsstudio mit der Suche nach Abfallmaterialien und der Nutzungen für diese begonnen, also Bauelemente aus Abfall entwickelt bevor sie begonnen haben für diese Elemente ein prototypisches Gebäude zu entwerfen.

Das Dachtragwerk ist analog der RE⁴ Forschung aus dem Abbruch verschiedener Holzkonstruktionen entstanden. Da dies eher kurz Stäbe mit geringen Querschnitten waren basiert das Konzept auf einem Holzquerschnitt von 6 auf 11 cm. Aufgrund der kurzen Lamellen wurde ein Trägerrost konzipiert der vielfach gestossen werden konnte, 8 x 10 Meter überspannt und auf vier eingespannten Kreuzstützen auflagert. Im inneren Bereich des Daches, zwischen den Stützen, wurden zur Ermöglichung einer ganzjährigen Nutzung Kästen mit Zellulosedämmung aufgesetzt. Da das Gebäude auf einer bestehenden Kellerdecke der ehemaligen Kindl Brauerei errichtet wurde sind die Stützenfüsse durch die Decke verschraubt. Die Wände zur ganzjährigen Nutzung des Gebäudes wurden aus Gemüseboxen gebaut, die von den Studierenden als urbane Stohballen bezeichnet und über einen längeren Zeitraum in der Stadt gesammelt wurden. In die Pappboxen wurde geschreddertes Papier als Dämmstoff eingefüllt. Die Boxen wurden mit selber «geernteten» und angeweichten Werbeplakaten zu geschosshohen Wandelementen zusammengefügt. Die Wandelemente wurden von den Studierenden während der «Entwicklungsphase» in Bezug auf Entflammbarkeit und die Aufnahme von Windlasten getestet.

Ebenfalls aus Holzabfällen, gefundenem Glas und Fahrradschläuchen als Dichtung wurden Fenster und Türen hergestellt. Die Dachabdichtung ist aus neuem Material hergestellt das aber reversibel über Klettbander an der Konstruktion befestigt und nicht mit der Holzkonstruktion wie üblich verschweisst wurde. Das Gebäude, insbesondere die Aussenwände aus Pappe und Papier haben die mindestens einjährig geplante Nutzung bislang erstaunlich gut überstanden. Die Notfalloption einer zusätzlichen Wetterbekleidung wurde bislang nicht notwendig. Das Gebäude dient heute als Nachbarschaftstreff für diverse soziale Gruppen im Umfeld des Rollberggeländes.



Abbildung 35: Trägerrost aus Altholz



Abbildung 36: Rohbau Holztragwerk aus Altholz

7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

7.1. Voraussetzungen

Bei der Untersuchung von Altholz müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. Der Erhaltungszustand, Schäden durch den Rückbau und der vorherige Lastfall können die Tragfähigkeit des Holzes beeinflussen. In verschiedenen Forschungsprojekten wurde seit den 1950er Jahren festgestellt, dass der Einfluss des Alters vernachlässigt werden kann, wenn der Erhaltungszustand und andere Verunreinigungen sorgfältig untersucht werden [13].

Die Verwendung standardisierter Querschnitte kann dazu beitragen, Lagerkosten zu reduzieren und die Marktakzeptanz für Altholz zu erhöhen. Keilzinken machen das Recycling von Altholz sehr attraktiv, da Fehlstellen herausgeschnitten werden können und kürzere Stücke zu einer Endloslamelle verbunden werden können, die wiederum auf die erforderliche Länge zugeschnitten werden kann.

Die visuelle Festigkeitsbewertung kann heute maschinell unterstützt werden, was in höheren Festigkeitsklassen zu einer besseren Ausbeute führen kann. Üblicherweise arbeiten Sortiermaschinen damit, das Holz zu biegen und die Steifigkeit zu bewerten. Heutzutage umfasst die Maschinensortierung auch Technologien wie Biegeresonanzfrequenz, Röntgenmessungen und Ultraschallwellengeschwindigkeit.

Um das Problem der Holzschutzmittel aufzugreifen, wäre eine Art Schnelltest für die Baustelle wünschenswert, da Probenahme und Laboranalyse teuer und zeitintensiv sind. Das Fraunhofer-Institut entwickelte im Rahmen des EU finanzierten CaReWood Projektes einen Prototyp für ein Vor-Ort-Messgerät, mit dem die Klassifizierung von Altholz aus dem Rückbau von Gebäuden verbessert werden könnte [1].

7.2. Material- und Entwurfskonzept für lastabtragende und nichtlastabtragende Elemente aus Altholz

Der hohe Anteil an Altholz, der in alle Komponenten und Elementen integriert werden konnte, zeigt das enorme Potenzial dieses Ansatzes zur Minimierung sowohl in Bezug auf die Abfallerzeugung als auch den Ressourcenverbrauch. Solange jedoch keine ganzheitlichen Kostenermittlungen für die Errichtung und den Rückbau von Gebäuden angesetzt werden oder Anreize für nachhaltigere Lösungen geschaffen werden, werden solche Lösungen Schwierigkeiten haben, in den stark wirtschaftlich getriebenen Markt Einzug zu nehmen.

7.3. Reversible Verbindungen

Reversible Verbindungen auf Basis von Metallbeschlägen sind im modernen Holzbau bisher nicht üblich. Tischleranschlüsse sind ohne moderne Industrie-Abgratmaschinen wirtschaftlich nicht realisierbar. Wenn jedoch eine kreisförmige Konstruktion obligatorisch wird, soll eine geeignete Lösung relativ einfach implementiert werden können.

7.4. Entwurfskonzept für reversible Gebäude

Um die Flexibilität und Adaptionfähigkeit von Gebäuden an sich verändernde Lebensbedingungen zu ermöglichen, bedarf es neuer Entwurfs- und Konstruktionskonzepte. Darüber hinaus muss der Planungsprozess für Holzbauten eine zukünftige Demontage und Wiederverwendung berücksichtigen. Reversible Verbindungen, die oftmals teurer sind, sind der Schlüssel zum Erfolg solcher Konzepte. Die zunehmende Digitalisierung und der verstärkte Einsatz von Building Information Modeling (BIM) im Bauwesen können die Implementierung des zirkulären Bauens unterstützen. Insbesondere im Holzbau ist die 3D-Planung bereits ein etablierter Ansatz. Engagierte Komponentenhersteller und -lieferanten bieten für Produkte Rücknahmesysteme für Baureste und möglicherweise nicht mehr benötigte Produkte an. Ohne gesetzgeberische Vorgaben werden Ansätze zum zirkulären Bauen jedoch auf Pilotenebene bleiben.

8. Referenzen

- [1] <https://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/statistiken/bauabfaelle-und-bodenaushub>, zuletzt besucht am 26.07.2021
- [2] <https://www.bmu.de/gesetz/richtlinie-2008-98-eg-ueber-abfaelle-und-zur-aufhebung-bestimmter-richtlinien>, zuletzt besucht am 26.07.2021
- [3] <https://www.eea.europa.eu/publications/construction-and-demolition-waste-challenges>
- [4] <https://www.umweltbundesamt.de/alholz#hinweise-zum-recycling>, zuletzt besucht am 26.07.2021
- [5] Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz sowie des Bundesamts für Justiz (2003) Altholzverordnung – AltholzV, Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz
- [6] DIN EN 14081-1:2016. Holzbauwerke – Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- [7] DIN EN 14081-2:2018. Holzbauwerke – Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt – Teil 2: Maschinelle Sortierung; zusätzliche Anforderungen an die Erstprüfung, Deutsches Institut für Normung, Berlin. 2018.
- [8] EN14080:2013. Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen, Deutsches Institut für Normung, Berlin. 2018.
- [9] DIN 4074-1:2012. Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 1: Nadelschnittholz, Deutsches Institut für Normung, Berlin. 2012.
- [10] EN 338:2016. Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen, Deutsches Institut für Normung, Berlin. 2016.
- [11] Weimann, K.; et al.: Optimierung des Rückbaus/Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung, Umweltbundesamt (Federal Environment Agency), 2013, <http://www.uba.de/uba-info-medien/4430.html>
- [12] DIN 68800-2019. Holzschutz. Deutsches Institut für Normung, Berlin. 2019.
- [13] Cavalli A, Cibechhini D, Togni M, Sousa HS. 2016: A review on the mechanical properties of aged wood and salvaged timber.
- [14] <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2017/oktober/alholz-neues-leben-als-sekundaer-rohstoff.html>, zuletzt besucht am 23.03.19 um 18:20

Cradle to Cradle in Architektur und Konstruktion

Jörg Finkbeiner
Partner und Partner Architekten
Berlin, Deutschland



Cradle to Cradle in Architektur und Konstruktion

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 Wirtschaft 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 seine gesellschaftliche Verantwortung erbringen. Denn dass die gebaute Umwelt 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 von 1930 entsprechen. Der zusätzliche Ressourcenbedarf ist enorm und wird bei global vernetzten Rohstoffmärkten zu Verteilungsfragen und Preissteigerungen führen. 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 Weiterverwendung 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. Sie sind oftmals schadstoffbelastet oder enthalten nicht definierte 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, indem Baustoffe in ihrem «zweiten Leben» nicht auf demselben Qualitätsniveau wiederverwendet werden können. Deshalb ist eine multiperspektivische Strategie wird notwendig sein, um diese Zukunftsfragen belastbar beantworten 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 werden.

Um das zu erreichen brauchen auch wir eine andere Planungskultur und müssen das Verhältnis aller am Bau- und Planungsprozess beteiligter Akteure zueinander neu justieren. Das kann in integralen Planungsprozessen gelingen. Dabei sollte eine partnerschaftliche und offene Arbeitskultur entstehen. Die Chancen und Potentiale des «neuen» Bauens können so frühzeitig herausgearbeitet und in eine ganzheitliche Betrachtung integriert werden.

Die Planung, der Bau und der Betrieb (bis zum Rückbau) sollte sich der Frage widmen, wie ganzheitlich zirkuläres Bauen heute möglich sein kann und wie «ressourcen-positive» Gebäude entstehen können, die maximal kreislauffähig sind. Dazu gehört die grösstmögliche Flexibilität der primären Gebäudestruktur und der zerstörungsfreie Rückbau der wesentlichen Gebäudekomponenten (ohne Minderung der statischen und konstruktiven Eigenschaften) mit dem Ziel, diese wiederverwenden zu können: Bauteile sollen an Ihrem «End of Life» wieder in die jeweiligen Kreisläufe rückführbar sein und Fassaden- und/oder Dachflächen auf Ihre Potentiale zur Energiegewinnung hin überprüft werden. Natürliche Potenziale und passive Massnahmen, können zudem zu einer schlankeren haustechnischen Ausstattung beitragen und die Resilienz im Betrieb steigern.

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

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 zu hundert Prozent regenerativ organisiert werden. Damit Architektur diesen komplexen 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 systemimmanent werden. Verbundwerkstoffe sind zu vermeiden. Inhaltsstoffe 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 und auf diese im Bedarfsfall reagieren können (Dies vor allem vor dem Hintergrund einer sich schnellen technischen Entwicklung, sowie zukünftiger klimapolitischer Anpassungen in der Gesetzgebung und 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 einen aktiven Beitrag zur Biodiversität leisten, anstatt diese durch Versiegelung und Verwendung toxischer Inhaltsstoffe in Bauteilen zu vermindern (z.B. Fungizide in Wärmedämmverbundfassaden)

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, dass die Bedarfe und damit der Verbrauch real gesunken wären. 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 und wird. In einem linearen Wirtschaftsmodell, das Ressourcen lediglich verbraucht und an deren End-of-Life als Müll unbrauchbar zurücklässt und damit vernichtet, wird die Nachfrage nach Ressourcen nicht mehr bedient werden können.

Es ist deshalb wesentlich zu verstehen, dass wir zusätzlich zur 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. Uns stehen 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 des 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 CO₂, 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.
- **Sekundäre Baustoffe** spielen bisher im Gebäudesektor noch keine signifikante Rolle. Mineralische Rezyklate, werden hauptsächlich in Downcycling-Prozessen als minderwertigere 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 Sekundären Baustoffe der Anthroposphäre zu richten. Die Materialien, die in unseren Städten und Gebäuden «gelagert» sind, stehen uns perspektivisch zur Verfügung. Auch wenn sie nicht im Sinne einer Wiederverwendung erzeugt und verbaut wurden, werden uns hier enorme Massen 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. Der Zugriff auf diese Materialien stellt uns allerdings 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 dadurch abgesichert.

Es bleibt abzuwarten, wie eine aktive Wiederverwendung der Sekundärmaterialien (als Bauteile oder Baustoffe) und zirkuläre Architekturkonzepte mittelfristig auch die Gestaltung der entsprechenden Gebäude verändern und damit auch Einfluss auf unsere baukulturelle Wahrnehmung der gebauten Umwelt nehmen wird.

2. (Vor-)Bauen für die postfossile Epoche

2.1. Herausforderung in einem komplexen Umfeld

Gebäude sind komplexe «Produkte», die in der Regel in einem ebenso komplexen Umfeld entstehen. Die Hürden in der Umsetzung liegen dabei nicht an fehlenden technischen Lösungen oder Baustoffen. Problematischer ist vielmehr ein Gesamtsystem, das für eine zirkuläre Zukunft bisher nicht gedacht ist: Pfadabhängigkeiten, etablierte Planungs- und Bauprozesse und eine – wenn auch gut gemeinte – Gesetzgebung verhindern oftmals mögliche Innovationen. Neben rein konstruktiven Anforderungen, stellen sich bei der Umsetzung des Prinzips auch grundlegende Fragen an die Finanzierungssysteme, das Einpreisen von Klimafolgekosten in die Errichtung von Gebäuden, sowie fehlgeleitete Subventionen in eine fossile Energieversorgung.

Die Transformation von einem linearen zu einem kreislaufgerechten System ist grundlegend und umfassend und stellt unsere Gesellschaft, sowie das Bauen vor grosse Herausforderungen. Sie betrifft PlanerInnen genauso wie Baustoffindustrie, Versorgungsunternehmen, Gesetzgebung, BauherrInnen und InvestorInnen. Denn neben einer kreislauffähigen Konstruktion müssen Wertstoffkreisläufe entwickelt werden, sich etablieren und dafür neue Geschäftsmodelle entstehen. Erforderlich ist eine ganzheitliche Planungskultur, die integral und transdisziplinär funktioniert. Wir stehen hier erst am Anfang einer umfassenden Transformation die notwendig werden wird, wenn bauliche Entwicklungen möglich werden sollen, ohne unsere Ökosysteme und unsere Ressourcenkapazitäten zu überfordern.

2.2. Ressourcenpositives Bauen ist möglich: WOODSCRAPER, Wolfsburg

Nach einer umfassenden Lebenszyklusbetrachtung und Ökobilanzierung bei dem von der Deutschen Bundestiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes «WOODSCRAPER – Kreislauffähige Hochhäuser aus Holz» kann man feststellen, dass ein «ressourcenpositives» Gebäude grundsätzlich möglich sind. Die WOODSCRAPER+ belegen mit ihrem ganzheitlichen Ansatz, dass Nachhaltigkeit und Design keinen Widerspruch darstellen, sondern Design ein Schlüssel für die Herausforderungen der Zukunft ist. Mittels rationalisierter und integraler Planung, der Integration von Investitions- und Lebenszykluskosten, sowie Ökobilanzanalysen in den Entwurfsprozess, konnte belegt werden, dass ressourcenpositives Bauen mit schlanker Gebäudetechnik selbst in der Typologie Hochhaus ohne Mehrkosten heute schon möglich ist. Ressourcenpositiv bedeutet in diesem Zusammenhang, dass Gebäude über ihre Lebenszeit mehr Ressourcen erzeugen als sie für ihre Errichtung und Instandsetzung benötigen. Es bedeutet auch, dass die eingesetzten Ressourcen sich sortenrein zurückgewinnen lassen und im besten Fall in dieser Zeit wieder komplett nachgewachsen sind.

Die eingesetzten Ressourcen lassen sich sortenrein zur Weiterverwendung zurückbauen um Stoffkreisläufe zu schliessen. Darüber hinaus dienen die eingesetzten, nachwachsenden Rohstoffe als Speicher für Klimagas. Schon während der Errichtung speichern die WOODSCRAPER+ mehr Klimagas in ihrer Konstruktion ein, als für ihre Errichtung benötigt wird. Die WOODSCRAPER+ zeigen: «Vom Ende her zu denken» kann die Prämisse für den Beginn des Bauens der Zukunft sein.



Abbildung 1: Visualisierung WOODSCRAPER, Wolfsburg

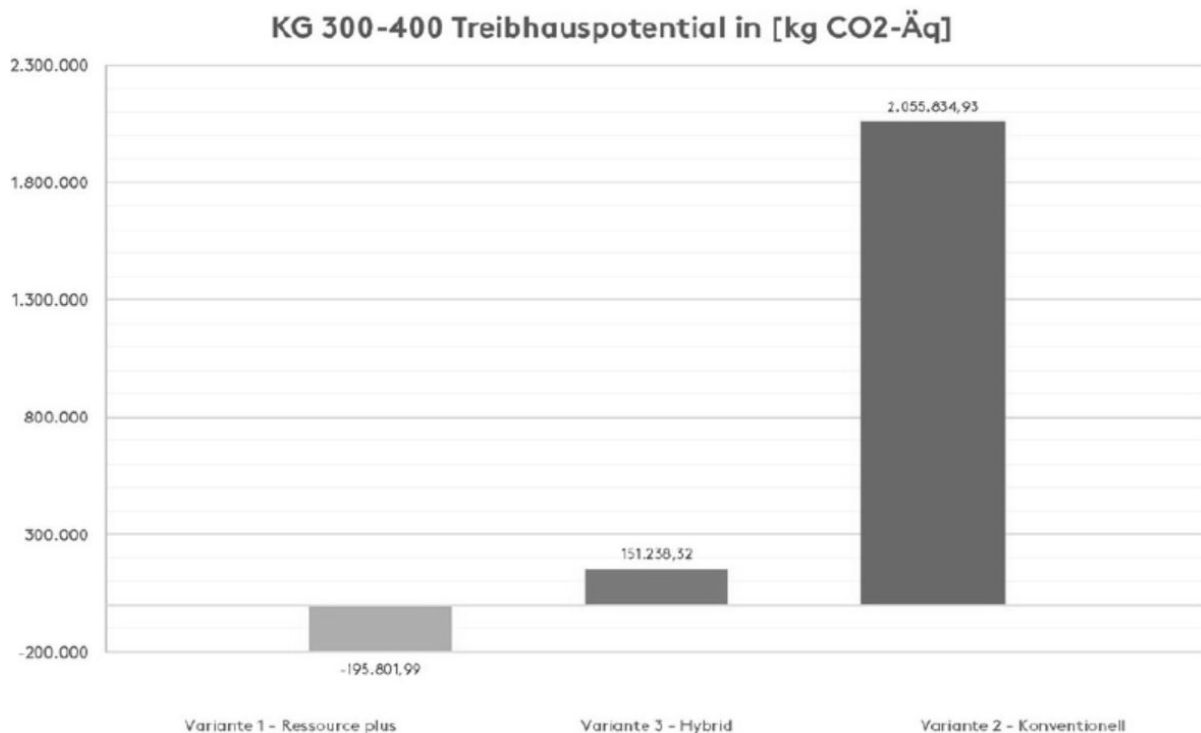


Abbildung 2: Treibhausgaspotential der WOODSCRAPER im Vergleich mit Referenzgebäude

2.3. Dynamische Gebäude: 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. 6000m² 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 Mieteranforderungen 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. 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 8,1m. Die quadratische Grundstruktur wird sofern keine Schallschutz-technischen 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. Aufgrund des Standorts an der Küste und entsprechender Windverhältnisse, kommen zudem Kleinwindanlagen auf der Dachfläche zum Einsatz. Überschüssiger Strom, wird in Salzwasser-Akkus gespeichert und weitestgehend eigen genutzt.

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 3: Gründerzentrum Lune Delta, Bremerhaven

3. Zusammenfassung

Eine zirkulär organisierte Welt wird in einer postfossilen Epoche eine wesentliche Rolle spielen. Dieser Ansatz steht aus unserer Sicht für einen notwendigen Paradigmenwechsel. Dafür ist aber auch eine breite Debatte notwendig. Wir verstehen diesen Prozess auch als eine grosse Chance, der gebauten Umwelt eine neue Sinnhaftigkeit und inhaltliche Tiefe zu verleihen. Denn nur so, kann Architektur ihrer gesamtgesellschaftlichen Verantwortung gerecht werden.

Block B1
Konstruktiver Schallschutz

Optimierung von Holzdecken in Bezug auf die DIN 4109

Robert Zehetmayr
ig-bauphysik GmbH & Co. KG
Hohenbrunn, Deutschland



Optimierung von Holzdecken in Bezug auf die DIN 4109

1. Einleitung

Mit der Einführung der DIN 4109:2016 [1] wurde die Nachweisführung im Holzbau wesentlich verbessert, in der nun baurechtlich eingeführten DIN 4109: 2018 [3] wurden lediglich die Anforderungen an einzelne Bauteile angepasst.

Im Folgenden soll dieses grundlegende Nachweisverfahren sowie dessen Grenzen aufgezeigt werden. Hiervon ausgehend, werden aktuelle Planungsmöglichkeiten und differenzierte Prognosemodelle vorgestellt, um das Nachweisverfahren zu erweitern. Hierbei wird besonders der Holzmassivbau betrachtet, da dieser in der DIN 4109 [3] eine unzureichende Berücksichtigung findet. Letztlich soll ein Ausblick auf die frequenzabhängige Prognose von Holzmassivbauteilen erfolgen.

2. Nachweis nach DIN 4109

2.1. Anforderungen und Zielwerte für den erhöhten Schallschutz

Der Einsatzbereich von Trenndecken in Holzbauweise erstreckt sich von Wohnungstrenndecken in Zweifamilienhäusern über Mehrfamilienhäuser bis hin zu Schul- und Bürogebäuden sowie Krankenhäusern und Beherbergungsstätten. An diese werden neben den statischen sowie thermischen und brandschutztechnischen Anforderungen auch solche des Schallschutzes in Abhängigkeiten der Gebäudenutzung gestellt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Auszug von Anforderungen an Trenndecken nach DIN 4109: 2018, in Abhängigkeit der Nutzung

Bauteil	Anforderungen 2018	
Wohnungstrenndecken	erf. $R'_w \geq 54$ dB	zul. $L'_{n,w} \leq 50$ dB ^{a),b),c)}
Decken zwischen Unterrichtsräumen in Schulen u.ä.	erf. $R'_w \geq 55$ dB	zul. $L'_{n,w} \leq 53$ dB
Decken zwischen „lauten“ Räumen und Unterrichtsräumen	erf. $R'_w \geq 55$ dB ^{d)}	zul. $L'_{n,w} \leq 46$ dB

^{a)} Trenndecken in Bürogebäuden, Bestandsgebäuden (Sanierung) und Zweifamilienhäusern mit Leichtbaudecken: zul. $L'_{n,w} \leq 53$ dB

^{b)} Im Falle von baulichen Änderungen von vor 1. Juli 2016 fertiggestellten Gebäuden liegt die Anforderung bei $L'_{n,w} \leq 53$ dB.

^{c)} Beim Neubau von Gebäuden mit Deckenkonstruktionen, die [2] zuzuordnen sind, liegt die Anforderung bei $L'_{n,w} \leq 53$ dB.

^{d)} Sporthallen und Werkräumen: erf. $R'_w \geq 60$ dB

Neben den Mindestanforderungen, werden durch die neue DIN 4109-5 [4] nun auch Anforderungen für den erhöhten Schallschutz zur Verfügung gestellt. Diese orientieren sich grundsätzlich an einer wahrnehmbaren Erhöhung des Schallschutzes von 3 dB bei Luftschalldämmung und einer Verminderung des Trittschallpegels um 5 dB. Darüber hinaus bietet das Beiblatt 2 nach DIN 4109:1989 [9], aber auch die VDI 4100 [7] weitere Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz.

Baurechtlich geschuldet wird in erster Linie nur der Mindestschallschutz nach DIN 4109. Im Zuge der Planung ist daher der Bauherr darüber zu informieren, welches Schallschutzniveau er mit den Mindestanforderungen zu erwarten hat und welche Zielwerte darüber hinaus erreicht werden könnten. Eine ausreichende Aufklärung ist besonders wichtig, da der Bauherr in der Regel irrtümlicher Weise davon ausgeht, dass die Geräusche seines Nachbarn durch die Anwendung der Mindestanforderungen nach DIN 4109 nicht hörbar sind. Dies entspricht jedoch nicht dem Anspruch der Mindestanforderungen, die lediglich einen Schutz vor unzumutbaren Übertragungen aus fremden Nutzungseinheiten gewährleisten soll. Zum Zwecke der Aufklärung bietet die VDI 4100 Anhaltswerte für die subjektive Empfindung von

Schalldämmung zur Nachbarwohnung in Abhängigkeit von verschiedenen Schallschutzniveaus. Zusätzlich wird der Planer bei seiner Aufklärung mit dem Kunden durch die DEGA Empfehlung [10] mithilfe einer orientierenden Beschreibung der subjektiven Wahrnehmbarkeit von üblichen Geräuschen aus benachbarten Wohneinheiten unterstützt. Werden im privatrechtlichen Bereich erhöhte Zielwerte vereinbart, ist dies unbedingt vertraglich festzuhalten.



Abbildung 1: Wahrnehmung von Geräuschen aus Nachbarwohnung in Anlehnung an [7], [10]

Unabhängig von der Bauweise werden Bauvorhaben, die rein durch anspruchsvolle Zielwerte an $L'_{n,w}$ und R'_w dafür sorgen sollen, dass der Nachbar nicht wahrnehmbar ist, unwirtschaftlich. Wie umfangreiche Untersuchungen in verschiedenen europäischen Ländern gezeigt haben, ist es daher sinnvoller die Zielwerte der einzelnen Bauteilwerte inklusive der Spektrumanpassungswerte im erweiterten Frequenzbereich festzulegen [11]–[18].

2.2. Schalltechnische Planung von Holzdecken nach DIN 4109

In der bauakustischen Planung von Bauvorhaben hat sich für die Leistungsphasen 1–3 folgende Vorgehensweise in der Praxis bewährt.

Schallschutzkonzept

- Beratung und Festlegung der Zielwerte mit dem Bauherren nach DIN 4109 sowie oben genannter Literatur für Anforderungen an den erhöhten Schallschutz nach [4], [7], [9] oder [10].
- Auswahl geeigneter Deckenkonstruktion mithilfe von Datenbanken, herstellereigenen Aufbauten (AbP, Prüfzeugnis) oder Bauteilkatalogen (Schallschutz im Holzbau) [11].
- Beurteilung der Decke im tieffrequenten Bereich ($L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB oder $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 46$ dB) [11].

Schallschutznachweis

- Berechnung des Trittschalls (bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$) nach Formel (1), hierbei sind die Korrektursummanden K_1 und K_2 den Angaben aus [3] zu entnehmen.

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

- Berechnung des Luftschalls (bewertetes Luftschalldämm-Mass R'_w) nach Formel (2) aus dem bewerteten Luftschalldämm-Mass der Decke R_w und dem Flankenschalldämm-Mass $R_{Ff,w}$ nach Formel (3)¹ mit der Trennfläche S_s und der Kantenlänge l_f .

$$R'_w = -10 \lg \left(10^{-0,1 R_w} + \sum_{f=f=1}^n 10^{-0,1 R_{Ff,w}} \right) \quad (2)$$

$$R_{Ff,w} = 67 + 10 \lg \left(\frac{S_s}{10 \text{ m}^2} \right) + 10 \lg \left(\frac{4,5 \text{ m}}{l_f} \right) \quad (3)$$

¹ Für die Berechnung des Flankendämm-Maßes $R_{Ff,w}$ nach Gleichung (3) darf für Holzständerwände und Montagewände (C-Profil-Wände), die durch die Decke vollständig unterbrochen werden, ein $D_{n,f,w} = 67$ dB verwendet werden [2].

- Der Nachweis nach DIN 4109 [3] erfolgt letztlich anhand Formel (4).

$$R'_{w} - 2 \text{ dB} \geq \text{erf. } R'_{w} \qquad \text{Bzw.} \qquad L'_{\{n,w\}} + 3 \text{ dB} \leq \text{zul. } L'_{\{n,w\}} \qquad (4)$$

Grenzen der DIN 4109

Das vorgestellte Verfahren zeichnet sich durch geringen Planungs- und Zeitaufwand aus und führt bei Standardkonstruktionen schnell zu zufriedenstellenden Ergebnissen. Hierbei ist besonders auf die Beurteilung der tiefen Frequenzen hinzuweisen, durch die sichergestellt wird, dass der Nutzer nicht durch zu starke Trittschallübertragungen gestört wird. Dennoch weist das Verfahren deutliche Lücken auf, denen durch aktuelle Forschungen Rechnung getragen wird oder durch diese noch zu schliessen sind. Insbesondere sind folgende Punkte zu nennen:

Deckenkonstruktionen

- Die Bauteilsammlungen der Bauteilkataloge der DIN 4109 [2] wurden im Wesentlichen 2004 abgeschlossen und sind somit bereits 17 Jahre alt. Zudem sind viele dieser möglichen Wohnungstrenndecken unwirtschaftlich. Deutliche Weiterentwicklung erfolgte vor allem bei den Holzmassivdecken wie auch bei Deckenkonstruktionen für die Altbausanierung. Eine aktuelle Bauteilsammlung ist [11] zu entnehmen, welche derzeit in den Bauteilkatalog der DIN 4109 [2] eingearbeitet wird.

Trittschallberechnung

- Die Berücksichtigung von Unterdecken an Holzmassivdecken durch die Korrektursummanden K_1 und K_2 ist noch nicht möglich. Zudem fehlen Werte für die Berücksichtigung von zusätzlichen Beplankungen oder Installationsebenen an flankierenden Wänden. Diese Umstände werden derzeit im Forschungsprojekt *Vertikale Flankenübertragung von Holz(ständer)wänden* am ift-Rosenheim untersucht.
- Das oben gezeigte Verfahren legt einen Raum mit vier gleichartigen Wänden zu Grunde. Die Berechnung mit unterschiedlichen Wänden erfolgt auf der sicheren Seite durch Auswahl der schlechtesten Variante. In diesem Bereich ist eine differenzierte Berücksichtigung notwendig.
- Zudem fehlen Angaben zu Korrektursummanden für die diagonale und horizontale Übertragung.

Luftschallberechnung

- Mithilfe der Norm-Flankenpegeldifferenz $D_{n,f,w} = 67 \text{ dB}$ nach [3] werden nur flankierende Holzrahmenwände und Montagewände (Trockenbau C-Profil-Wände) abgedeckt, welche durch die Decke vollständig getrennt werden. Sie ist nicht auf durchlaufende Wände (balloon framing) anwendbar.
- Der Nachweis von flankierenden Wänden in Holzmassivbauweise ist derzeit nicht möglich. Auf Grund der stärkeren Kopplung dieser Bauteilart sollten die gemischten Übertragungswege F_d und D_f berücksichtigt werden. Im Zuge der Überarbeitung des Bauteilkataloges der DIN 4109 [2] soll mithilfe der Ergebnisse aus [22] und [23] die Flankenberechnung ergänzt werden, wodurch ihre Berechnung anhand des Stossstellendämm-Masses K_{ij} ermöglicht wird [32].

Trenndecken als flankierendes Bauteil

- Wird eine Trennwand-Situation schalltechnisch beurteilt, fungiert die Decke als flankierendes Bauteil. In diesem Fall ist es von Vorteil, wenn die Decke im Bereich der Trennwand unterbrochen wird. In vielen Situationen ist dies aus wirtschaftlichen oder statischen Gründen nicht realisierbar. Da eine durchlaufende Decke die Schalldämmung jedoch massgeblich beeinflussen kann, ist einer solche Konstruktion eine gute Planung voranzustellen. In der DIN 4109 fehlen bislang Angaben zu solchen Situationen.

3. Differenziertes Prognosemodell

Um Holzbausituationen mit unterschiedlichen flankierenden Wänden und Decken oder etwaigen Zusatzmassnahmen (zusätzliche Beplankungen, Installationsebene oder Elastomere) im Planungsprozess prognostizieren zu können, ermöglicht die DIN EN ISO 12354-1 bis 2 ([5], [6]) ein differenziertes Verfahren. Hierdurch lassen sich auch flankierende Massivholzdecken betrachten, für die derzeit Planungsdaten im Bauteilkatalog der DIN 4109 fehlen.

Während sich die Flankenberechnung im Holzbau nach [3] auf die Norm-Flankenpegeldifferenz und somit auf den Übertragungsweg Ff begrenzt, differenziert die ISO 12354 die Übertragung in die in Abbildung 2 dargestellten Übertragungswege. Für den Luftschall werden die Wege ij = Ff sowie Fd und Df berücksichtigt. Für den Trittschall wird neben dem bewerteten Norm Trittschallpegel der Decke Dd nur die Flankenübertragung über den Weg ij = Df berücksichtigt. Die daraus resultierenden Prognosen im Holzbau weisen starke Ungenauigkeiten auf, weshalb es sinnvoll ist, den ergänzenden Übertragungsweg Dff (Übertragung durch den Estrich in das flankierende Bauteil im Senderraum und Abstrahlung durch das flankierende Bauteil im Empfangsraum) zu berücksichtigen [19].

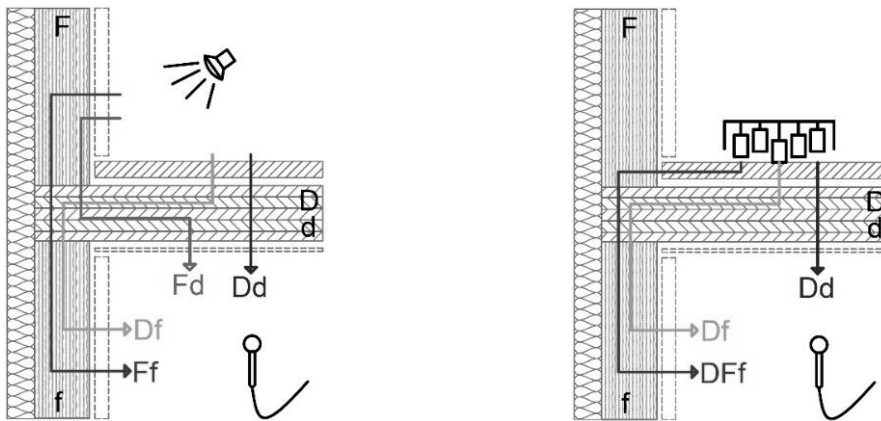


Abbildung 2: Schematische Darstellung der direkten (Dd) und flankierenden Schallübertragungsweg (Ff, Fd, Df, Dff) im Holzbau anhand einer Trenndecke. Links: Luftschallübertragung, Rechts: Trittschallübertragung

Somit ergeben sich aus dem Bauteilwert der Decke und der summativen Betrachtung der flankierenden Übertragungen die Planungswerte unter Baubedingungen $L'_{n,w}$ und R'_{w} , wie Formel (5) und (6) zeigen.

$$L'_{n,w} = 10 \lg \left(10^{0,1 L_{n,w}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{0,1 L_{n,ij,w}} \right) \quad (5)$$

$$R'_{w} = -10 \lg \left(10^{-0,1 R_w} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-0,1 R_{ij,w}} \right) \quad (6)$$

In [22] wird gezeigt, dass die in DIN 4109 und ISO 12354 aufgeführten Rechenverfahren für Massivbauteile ebenfalls auf den Holzmassivbau sinnvoll angewendet werden können. Hierbei setzt sich die Berechnung der flankierenden Übertragung nach Formel (7) und (8) aus dem äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,eq,0,w}$, der bewerteten Trittschallminderung ΔL_w , dem Schalldämm-Mass der Decke oder der flankierenden Wände ($R_{i,w}, R_{j,w}$), der Verbesserung durch Vorsatzschalen ($\Delta R_{ij,w}$) sowie dem Stossstellendämm-Mass (K_{ij}) der jeweiligen Übertragungswege ij zusammen und bezieht sich dabei auf die gemeinsame Trennfläche (S_s) sowie die gemeinsame Kantenlänge (l_f).

$$L_{n,ij,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + \frac{R_{i,w} + R_{j,w}}{2} - \Delta R_{ij,w} - K_{ij} + 10 \lg \left(\frac{S_s}{l_0 l_f} \right) \quad (7)$$

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w} + R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \lg \left(\frac{S_s}{l_0 l_f} \right) \quad (8)$$

Auf Grund der starken Inhomogenität von Holzbalkendecken sowie Holzrahmenbauteilen sind die Formeln (7) und (8) jedoch nicht anwendbar und müssen nach wie vor auf Grundlage von Labormesswerten ermittelt werden (siehe Formel (9) und (10)).

3.1. Schalltechnische Prognose für Holzdecken

Für Eingangsdaten können neben der Verwendung von Bauteilkennwerten aus Bauteilkatalogen und Datenbanken auch solche aus Labormessungen verwendet werden. Insbesondere für Holzrahmenbauteile und Holzbalkendecken, ist die Bausituation durch Messung des Trittschallpegels flankierender Bauteile $L_{n,ij,lab,w}$ zu charakterisieren. Diese ermittelt sich anhand des gleichen Verfahrens wie die Messung der Korrektursummanden K_1 und K_2 in [3]. Hierbei ist es möglich, gegebenenfalls vorhandene Vorsatzschalen $\Delta R_{ij,w}$ und Entkopplungen im Deckenstoss ΔK_{ij} zu berücksichtigen.

$$L_{n,Df,w} = L_{n,Df,lab,w} - \Delta R_{ij,w} - \Delta K_{ij} - 10 \lg \left(\frac{S_j}{I_0 I_{ij}} \right) \quad (9)$$

$$L_{n,DFf,w} = L_{n,DFf,lab,w} - \Delta R_{ij,w} - \Delta K_{ij} - 10 \lg \left(\frac{S_j}{I_0 I_{ij}} \right)$$

Liegen keine Messdaten für $L_{n,Df,lab,w}$ vor, kann dieser anhand des K_1 Korrektursummanden gemäss Formel (10) ermittelt werden.

$$L_{n,Df,lab,w} = 10 \lg (10^{0,1(L_{n,d,w}+K_1)} - 10^{0,1 L_{n,d,w}}) \quad (10)$$

Die Bestimmung von $L_{n,DFf,lab,w}$ ohne Laborwerte ist, in Abhängigkeit der Konstruktion, mit Hilfe der Tabelle für K_2 nach [3] zu realisieren.

In Hinsicht auf die Luftschallanregung berechnet sich das bewertete Flankendämm-Mass $R_{ij,w}$ für die vertikale Übertragung von flankierenden Holzrahmenbauwänden und horizontale Übertragung flankierender Holzbalkendecken durch Ermittlung der Norm-Flankenpegeldifferenz $D_{n,f,w}$, welche entweder messtechnisch bestimmt oder aus dem Bauteilkatalog [2] entnommen wird.

$$R_{Ff,w} = D_{n,f,w} + 10 \lg \left(\frac{S_s}{10 \text{ m}} \right) + 10 \lg \left(\frac{4,5 \text{ m}}{l_f} \right) \quad (11)$$

Liegen zusätzliche Vorsatzschalen vor, kann das Flankenschalldämm-Mass um die Verbesserung $\Delta R_{Ff,w}$ erhöht werden.

Die Berechnung der Flankenübertragung durch Massivholzwände und -decken erfolgt nach Formel (8).

3.2. Stossstellen für Massivholzelemente

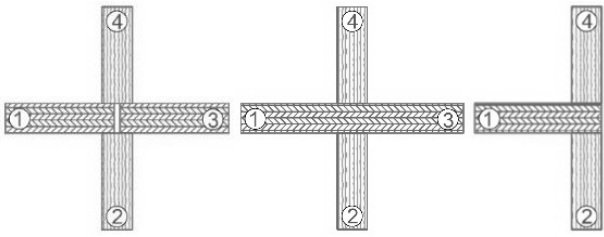
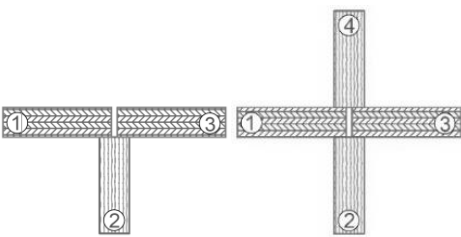
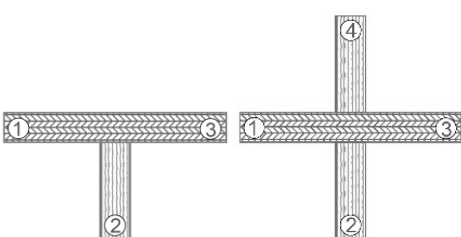
Die Charakterisierung der Stossstelle erfolgt anhand des Stossstellendämm-Masses K_{ij} .

Die Ermittlung dieser Grösse kann anhand zwei verschiedener Ansätze erfolgen.

Die erste Möglichkeit der Stossstellenberechnung liefern die empirischen Angaben der DIN EN ISO 12354-1:2017-11 - Anhang E3. Für Holzmassivbau-Konstruktionen ist zwischen Kreuz- und T-Stoss zu unterscheiden. Es wird jedoch nur der Fall eines Durchlaufenden Deckenelementes abgebildet

Der zweite Ansatz ist die Verwendung aktueller Forschungsergebnisse auf Grundlage des Projektes «Vibroakustik im Planungsprozess für Holzbauten» [22]. Massgebliche Aufgabe hierbei war die Ermittlung von Stossstellendämm-Massen von verschiedenen Massivholz-Bauteilstössen. Diese wurden mit verschiedenen Herstellern in realistischer Grösse unter Laborbedingungen gemessen und K_{ij} nach DIN EN ISO 10848 [8] ermittelt. Ergänzend hierzu wurden Messdaten vergleichbarer Aufbauten aus europäischen und kanadischen Instituten zusammengetragen und ausgewertet [23] [21]. Hierbei ist, nach aktuellem Stand der Forschung, das Massenverhältnis M in der Betrachtung der Bauteilkopplung von entscheidender Bedeutung. Anhand dieser Ergebnisse lassen sich nun auch getrennte Deckenelemente betrachten.

Tabelle 2: Berechnung der Stossstellenmasse von Massivholzkonstruktionen nach [21]

Vertikale Übertragung übereinander liegender Bauteile	
	$K_{Ff} = K_{42} = 21 + 4M + 3M^2 + 3,3lg\left(\frac{f}{f_k}\right)$ $K_{Fd} = K_{41} = 12 + 14M^2 + 3,3lg\left(\frac{f}{f_k}\right) \quad (12)$ $K_{Df} = K_{12} = 12 + 14M^2 + 3,3lg\left(\frac{f}{f_k}\right)$
Horizontale Übertragung nebeneinander liegender Räume mit getrenntem Deckenelement	
	$K_{Ff} = K_{42} = 12 + 10M + 11M^2 + 3,3lg\left(\frac{f}{f_k}\right)$ $K_{Fd} = K_{41} = 12 + 14M^2 + 3,3lg\left(\frac{f}{f_k}\right) \quad (13)$ $K_{Df} = K_{12} = 12 + 14M^2 + 3,3lg\left(\frac{f}{f_k}\right)$
Horizontale Übertragung nebeneinander liegender Räume mit durchlaufendem Deckenelement	
	$K_{Ff} = K_{42} = 3 - 3,3lg\left(\frac{f}{f_k}\right)$ $K_{Fd} = K_{41} = 12 + 14M^2 + 3,3lg\left(\frac{f}{f_k}\right) \quad (14)$ $K_{Df} = K_{12} = 12 + 14M^2 + 3,3lg\left(\frac{f}{f_k}\right)$
Dabei ist $M = lg \frac{m'_i}{m'_e}$ und $f_k = 500 \text{ Hz}$	

Das Verfahren ist sowohl in der frequenzabhängigen Berechnung, als auch in der Einzahlberechnung anwendbar. Für die Einzahlberechnung wird f mit 500 Hz angesetzt, wodurch der frequenzabhängige Summand der jeweiligen Berechnung entfällt.

Wird im Bereich der Stossstelle eine zusätzliche Entkopplung geplant, ist es sinnvoll die tatsächliche Stossituation inklusive der Elastomere messtechnisch zu bestimmen und im Berechnungsverfahren anzusetzen. Eine rein rechnerische Bestimmung der Verbesserung durch Elastomere ist nicht möglich. Soll eine entkoppelte Stossituation ohne Prüfstandsmessung berücksichtigt werden, kann in Anlehnung an [3] eine massen-unabhängige Verbesserung durch das Elastomer ΔK_{ij} bzw. Δ_l ermittelt und mit $K_{ij, \text{starr}}$ addiert werden (siehe Formel (15)).

$$K_{ij} = K_{ij, \text{starr}} + \Delta_l \quad (15)$$

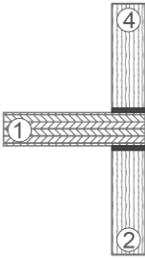
Hierzu wird die Differenz des Stossstellendämm-Masses ähnlicher Stossstellen gebildet, die sowohl mit, als auch ohne Elastomer messtechnisch untersucht wurden. Diese massenunabhängige Verbesserung des Elastomers wird anschliessend mit der tatsächlichen Stossituation (berechnet oder gemessen) addiert. Messdaten von Stossituation mit und ohne Elastomer sind beispielsweise in der Online-Datenbank VaBdat² zu finden.

Des Weiteren dient Tabelle 3 als Orientierung. Hierin werden die bereits 2010 von M. Schramm und F. Dolezal veröffentlichten Ergebnisse [24] zur Verbesserung durch elastisch entkoppelte Stossituationen mit aktuellen Messwerten zugelassener Winkel und Entkopplungen aufgezeigt.

² <https://www.vabdat.de/Stossstelle/>

Werden die Übertragungswege nach Abbildung 2 beachtet, wirkt sich im Weg Fd nur das obere, im Weg Df nur das untere Elastomer aus. Die Übertragung über die Wege Ff und Dff wird von beiden Entkopplungselementen beeinflusst.

Tabelle 3: Verbesserung der Stossstellendämm-Masse ΔK_{ij} durch elastische Entkopplung

Position der Elastomere		Entkoppelte Befestigungsmittel	
		Nach [24]	Nach [25][26][22]
	Nur oben / nur unten	$\Delta K_{ij} = 7 \dots 10 \text{ dB}$	$\Delta K_{ij} = 4 \dots 10 \text{ dB}$
	Oben und unten	$\Delta K_{ij} = 8 \dots 19 \text{ dB}$	$\Delta K_{ij} = 13 \dots 15 \text{ dB}$

3.3. Verbesserung durch Vorsatzschalen

Die Verbesserung durch Vorsatzschalen/Installationsebenen an Massivholzelementen kann als Abschätzung nach [5] ermittelt werden. Wesentlicher Einfluss hat die Übertragung durch Befestigungen und der Übertragung durch das Gefach. Letzterer ist massgeblich durch die Masse-Feder-Masse Resonanz f_0 geprägt. Wie Formel (16) zeigt, lässt sich diese mit Hilfe der flächenbezogenen Masse des Grundbauteils (Wandelement) m'_1 und der Beplankung der Vorsatzschale m'_2 sowie der dynamischen Steifigkeit s' in MN/m^3 errechnen.

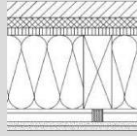
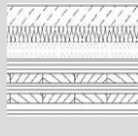
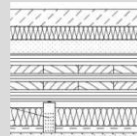
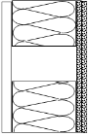
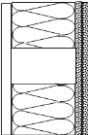
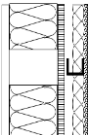
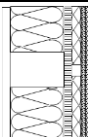
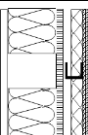
$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (16)$$

Wird der Hohlraum durch einen leichten, weichen Dämmstoff bedämpft, so kann anstelle von s' die dynamische Steifigkeit der Luftschicht und deren Dicke d angesetzt werden (17).

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{0,08}{d} \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (17)$$

Die Verbesserung der Vorsatzschale tritt oberhalb der Resonanzfrequenz f_0 auf, woraus folgt, dass die Verbesserung durch Vorsatzschalen umso grösser ist, je kleiner f_0 ist. Für Holzrahmenbauteile und Holzbalkendecken kann, basierend auf der stark inhomogenen Bauweise, keine Verbesserung rechnerisch ermittelt werden. Auf Grundlage von Untersuchungen der Flankenübertragung von Holzrahmenbauwänden mit Installationsebene [33] können dennoch Planungswerte für die flankierende Trittschallübertragung nach Formel (9) ermittelt werden.

Tabelle 4: Laborprüfwerte für den bewerteten Norm-Trittschallpegel flankierender Holztafelwände $L_{n,f,ij,lab,w}$ bezogen auf $S_{i,lab} = I_0 I_{ij,lab}$ sowie Verbesserungen durch Vorsatzschalen bzw. Zusatzbeplankungen $\Delta R_{j,w}$ an den Flanken. Messdaten aus [33]

Deckenaufbau		Raumseitige + Vorsatzschale		Beplankung				
						$L_{n,w} = 40 \text{ dB [11], Tab.25, Z.12}$	$L_{n,w} = 40 \text{ dB [11], Tab.26, Z.3}$	$L_{n,w} = 23 \text{ dB [11], Tab.27, Z.2}$
	12,5 mm 12,5 mm	GKF GKF			$L_{n,f,ij,lab,w} = 46 \text{ dB}$			-
	18 mm 18 mm	GKF GKF			-			$L_{n,f,ij,lab,w} = 34 \text{ dB}^a)$ $\Delta R_{j,w} = 2 \text{ dB}^b)$ $\Delta R_{ij,w} = 3 \text{ dB}^c)$
	12 mm 10 mm 75 mm 12,5 mm	OSB Luftschicht CW+MW GK			$L_{n,f,ij,lab,w} = 42 \text{ dB}$ $\Delta R_{j,w} = 4 \text{ dB}^b)$			-
	12 mm 40 mm 15 mm 12,5 mm	OSB L+MW GKF GK			-			$L_{n,f,ij,lab,w} = 33 \text{ dB}^a)$ $\Delta R_{j,w} = 3 \text{ dB}^b)$
	12 mm 10 mm 75 mm 12,5 mm 12,5 mm	OSB Luftschicht CW+MW GKF GKF			-			$L_{n,f,ij,lab,w} = 31 \text{ dB}^a)$ $\Delta R_{j,w} = 5 \text{ dB}^b)$

a) Bei Ausführung der Decke ohne Unterdecke (Spalte 3) kann die Gesamt-Flankenübertragung durch eine zusätzliche Übertragung des Deckenelements beeinflusst werden.

b) Verbesserung $\Delta R_{j,w}$ gegenüber direkter Beplankung nach Zeile 1. Gültig für Weg Df. Voraussetzung: Montage der Vorsatzschale an der flankierenden Wand im Empfangsraum.

c) Verbesserung $\Delta R_{ij,w}$ gegenüber Zeile 1. Gültig für Weg Dff. Voraussetzung: Montage der Beplankungen an den flankierenden Wänden im Send- und Empfangsraum.

GK Gipsplatte nach DIN 18180/DIN EN 520, $\rho \geq 680 \text{ kg/m}^3$, mechanisch verbunden

GKF Gipsplatte Typ F nach DIN 18180/DIN EN 520, $\rho \geq 800 \text{ kg/m}^3$, mechanisch verbunden

OSB Verlegetspanplatte aus gerichteten Holzspänen nach DIN EN 300, mechanisch verbunden

CW+MW C-Wandprofil mit einer Blechdicke von 0,6 mm nach DIN EN 14195 + 60 mm

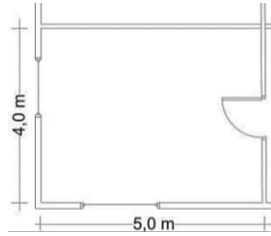
Mineralfaserdämmstoff

L+MW Lattung vertikal, auf dem Ständer montiert, $e = 0,625 \text{ m} + 40 \text{ mm}$ Mineralfaserdämmstoff

4. Planung anhand eines Ausführungsbeispiels

In dem vorangegangenen Kapitel wurde das differenzierte Berechnungsverfahren nach [5] und [6] in Verbindung mit Erkenntnissen aus aktuellen Forschungen vorgestellt. Auf Grundlage dessen soll im Folgenden ein mögliches Vorgehen für die Berücksichtigung von Bauteilen und Zusatzmassnahmen, die nicht durch die DIN 4109 abgedeckt werden, vorgestellt werden. Das hierzu verwendete Ausführungsbeispiel als Wohngebäude ist durch Massivholzelemente sowohl im Decken als auch im Wandbereich charakterisiert. Die Massivholzdecke ist mit schwimmendem Zementestrich auf Mineralfaser und einer zusätzlichen Splittbeschwerung gewählt. Im Bereich der flankierenden Aussenwände soll die Holzoberfläche sichtbar bleiben. Die flankierenden Innenwände werden hingegen mit Gipsbauplatten beplankt.

Tabelle 5: Ausführungsbeispiel für Planung anhand differenzierter Rechenmodelle mit Eingangsdaten sowie Ergebnissen der Prognose (Dickenangaben in mm)

Z	Decke (Dicke in mm)	Decke	Aussenwand	Innenwand
1		50 mm ZE ($m' = 120 \text{ kg/m}^2$) 40 mm MFT, $s' = 7 \text{ MN/m}^3$ 60 mm RDB, $m' = 94 \text{ kg/m}^2$ 160 BSH (Masse GE: $169,2 \text{ kg/m}^2$) ^{b)} $S_S = 20 \text{ m}^2$	Schalung Lattung 160 Dämmung 100 BSP (Masse GE: 48 kg/m^2) ^{b)}	12,5 GK 80 BSP 12,5 GK (Masse GE: 59 kg/m^2) ^{b)}
	Anforderungen: erf. $R'_w \geq 54 \text{ dB}$ zul. $L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$	$R_w (C_{150-5000}) = 72 (-8) \text{ dB}$ $L_{n,w} (C_{150-2500}) = 40 (8) \text{ dB}$	$l_f = 9,0 \text{ m}$ $K_1 = 4 \text{ dB}$ $R_{f,w} = 32,4 \text{ dB}$ ^{a)c)}	$l_f = 9,0 \text{ m}$ $K_1 = 4 \text{ dB}$ $R_{f,w} = 35 \text{ dB}$ ^{a)d)}
2	Vorbemessung nach [11]	$L_{n,w} + C_{150-2500} = 48 \text{ dB} < 50 \text{ dB}$ → Basis +		
3	Berechnung nach DIN 4109	$L'_{n,w} = 48 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$ $L'_{n,w} + u_{\text{prog}} > \text{zul. } L'_{n,w}$ nicht erfüllt! ✘		$K_1 = 4 \text{ dB}$, $K_2 = 4 \text{ dB}$
4	Differenzierte Berechnung Stossstelle als T-Stoss ^{e)}	$L'_{n,w} = 47,2 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$ $L'_{n,w} + u_{\text{prog}} > \text{zul. } L'_{n,w}$ nicht erfüllt! ✘ $R'_w = 55,6 \text{ dB} - 2 \text{ dB}$ $R'_w - u_{\text{prog}} < \text{erf. } R'_w$ nicht erfüllt! ✘	$L_{n,DFf,w} = 38,0 \text{ dB}$ $L_{n,Df,w} = 34,8 \text{ dB}$ $R_{Pf,w} = 63,0 \text{ dB}$ $R_{Df,w} = 82,5 \text{ dB}$ $R_{Fd,w} = 66,5 \text{ dB}$	$L_{n,DFf,w} = 38,0 \text{ dB}$ $L_{n,Df,w} = 34,8 \text{ dB}$ $R_{Pf,w} = 65,3 \text{ dB}$ $R_{Df,w} = 83,6 \text{ dB}$ $R_{Fd,w} = 67,6 \text{ dB}$
5	Zusatzmassnahme Aussenwand: Elastomer oben $\Delta K_{ij} = 5 \text{ dB}$	$L'_{n,w} = 45,1 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$ $L'_{n,w} + u_{\text{prog}} < \text{zul. } L'_{n,w}$ erfüllt! ✔ $R'_w = 60,3 \text{ dB} - 2 \text{ dB}$ $R'_w - u_{\text{prog}} > \text{erf. } R'_w$ erfüllt! ✔	$L_{n,DFf,w} = 33,0 \text{ dB}$ $L_{n,Df,w} = 34,8 \text{ dB}$ $R_{Pf,w} = 68,0 \text{ dB}$ $R_{Df,w} = 82,5 \text{ dB}$ $R_{Fd,w} = 71,5 \text{ dB}$	$L_{n,DFf,w} = 33,0 \text{ dB}$ $L_{n,Df,w} = 34,8 \text{ dB}$ $R_{Pf,w} = 70,5 \text{ dB}$ $R_{Df,w} = 83,6 \text{ dB}$ $R_{Fd,w} = 72,6 \text{ dB}$

ZE = Zementestrich, MFT = Mineralwolle, RDB = Rohdeckenbeschwerung/Splitt, BSH Brettschichtholz, GK = Gipsbauplatte, BST = Brettstapel GE = Grundelement

^{a)} Schalldämm-Mass des Massivholzelements (bei Decke inkl. Splitt) für die Berechnung nach Gleichung (7)

^{b)} Daten entnommen aus [20] Tab. 26, Z.3

^{c)} Daten entnommen aus VaBDat-Datenbank: B_bCLT100

^{d)} Daten entnommen aus VaBDat-Datenbank: B_bGP12_bCLT80_bGP12

^{e)} Stossstellendämm-Mass nach Abschnitt 3.2

Aus Tabelle 5 können folgende Ergebnisse zusammengefasst werden:

- Um die Trenndecke bezüglich ihres subjektiven Empfindens zu beurteilen, wird sie in Zeile 2 mit den in [20] angegebenen «normativen Anforderungen und Empfehlungen für wichtige Zielwerte» verglichen. Der Aufbau ist der Kategorie «Basis +» ($L_{n,w} + C_{150-2500} \leq 50 \text{ dB}$) zuzuordnen. Es ist davon auszugehen, dass keine störende Trittschallübertragung zu erwarten ist.
- Der Nachweis nach DIN 4109 wird für die Trittschallberechnung in Zeile 3 nicht erfüllt. Die Berechnung des Luftschalls ist auf Grund der flankierenden Massivholzelemente noch nicht möglich.
- In Zeile 4 erfolgt die detailliertere Prognose nach den in Abschnitt 3 aufgezeigten Berechnungsverfahren. Hierzu wird die Stossstelle durch die in [21] angegebenen Planungsdaten berechnet. Auch in der differenzierten Berechnung werden die Anforderungen nicht erreicht.
- Als Zusatzmassnahme wird in Zeile 5 deshalb ein Elastomer oberhalb der Decke angeordnet. Nach Tabelle 3 wird ein $K_{ij} = 5 \text{ dB}$ gewählt, wodurch die Anforderungen an Wohnungstrenndecken sowohl für den Luft- als auch Trittschall eingehalten werden.

Die Prognose anhand der differenzierten Berechnungsmodelle ist allgemein durch eine Baumessung zu validieren, da sie keinen Nachweis im Sinne der DIN 4109 darstellt. Landesbaurechtlich kann hiervon gegebenenfalls abgewichen werden, falls die allgemeinen Anforderungen durch eine andere Lösung im gleichen Masse erfüllt werden können³.

5. Baumessungen und Vergleichsprognosen

Anschliessend an Abschnitt 4 werden in Tabelle 6 weitere Ausführungsbeispiele für Massivholztrenndecken in mehrgeschossigen Bauobjekten sowie deren jeweiligen Zusatzmassnahmen für flankierende Wände anhand vier realer Bausituationen (BS) aufgezeigt. Bis auf den Trittschall der Bausituation 3 halten die Situationen sogar die erhöhten Anforderungen an Wohnungstrenndecken gemäss [4] ($L'_{n,w} \leq 45$ dB $R'_w \geq 57$ dB) ein.

Alle vier Gebäude wurden in Holzmassivbauweise errichtet. Empfangs und Senderraum liegen exakt untereinander und weisen jeweils die gleichen Bauteilkonstruktionen in Sende- und Empfangsraum auf. Eine ausführliche Beschreibung der Berechnung ist in [30] nachzulesen.

Tabelle 6: Berechnung verschiedener Bausituation durch das differenzierte Berechnungsverfahren und Vergleich mit den tatsächlich gemessenen Werten auf der Baustelle.

BS	Decke (in mm)	Flanke 1-4 und Entkopplung	Stossstellen-entkopplung	Baumessung	Einzahl-Prognose	Differenz
1	60 ZE 40 MFT 90 KS 200 BSH	1: MH + Bep. 2: MH + Bep. 3: MH + Bep. 4: MH + Bep.	Keine Entkopplung	$R'_w = 59,9$ dB ✓ $L'_{n,w} = 42,8$ dB ✓	$R'_w = 61,2$ dB $L'_{n,w} = 43,0$ dB	-1,3 dB 0,2 dB
2	65 ZE 40 MFT 90 KS 100 BSH	1: BSP + Bep. 2: BSP + Bep. 3: BSP + Bep. 4: HRB	Elastomer oben ^{a)}	$R'_w = 63,4$ dB ✓ $L'_{n,w} = 44,8$ dB ✓	$R'_w = 61,5$ dB $L'_{n,w} = 44,7$ dB	1,9 dB -0,1 dB
3	65 ZE 40 MFT 100 KS 200 BSH	1: BSP + Bep. 2: BSP + Bep. 3: BSP + Bep. 4: BSP + Bep.	Kork oben ^{c)}	$R'_w = 60,2$ dB ✓ $L'_{n,w} = 46,5$ dB ✗	$R'_w = 59,3$ dB $L'_{n,w} = 44,4$ dB	0,9 dB -2,1 dB
4	80 ZE 50 MFT 85 KS 200 BSH	1: BSP + Bep. 2: BSP + Bep. 3: BSP + Bep. 4: HRB	Elastomer oben + unten ^{b)}	$R'_w = 66,0$ dB ✓ $L'_{n,w} = 44,8$ dB ✓	$R'_w = 63,2$ dB $L'_{n,w} = 47,3$ dB	2,8 dB 2,5 dB

ZE = Zementestrich, MFT= Mineralfaser Trittschalldämmung, KS = Kalksplitt, BSH = Brettsperrholz, Bep. = Beplankung mit Gipsfaser oder Gipskarton, MH = Massivholzblock, HRB = Holzrahmenbau

^{a)} Entkopplungsschicht zwischen Deckenelement und flankierendem Bauteil im Senderraum

^{b)} Entkopplungsschicht zwischen Deckenelement und flankierendem Bauteil im Senderraum sowie zwischen Deckenelement und flankierendem Bauteil im Empfangsraum

^{c)} Die Messdaten zeigen, dass die Verbesserung des Stossstellendämm-Mass durch das Kork vernachlässigbar ist, weshalb die Stossstelle als starrer Stoss berechnet wird.

6. Ausblick auf frequenzabhängige Verfahren

Die Berechnung von Bauteilen und Bausituationen durch Einzahlwerte ist praktikabel und mit überschaubarem Aufwand möglich. Sie birgt jedoch die Gefahr des Informationsverlustes, da hierbei wichtige Informationen über das Verhalten in dem bauakustisch relevanten Frequenzbereich verloren gehen. Im tieffrequenten Bereich kommt dieser Umstand besonders zu tragen. In der DIN EN ISO 12354 ([5] und [6]) wird daher ein Berechnungsverfahren vorgeschlagen, durch welches die frequenzabhängige Prognose von Bauteilen und Bausituationen möglich ist. Diese wurde in [30] mit aktuellen Forschungsergebnissen für den Holzbau ergänzt und mithilfe des Prognosetools VBAcoustic⁴ automatisiert.

³ BayBo in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2007, Art.3 Satz 1

⁴ http://bit.ly/VBAcoustic_download

6.1. Berechnungsgrundlagen

In der frequenzabhängigen Berechnung werden die Übertragungswege analog zu Abbildung 2 angewendet. Hieraus resultiert die Prognose der Planungswerte R' und L'_n durch die summativen Anteile aus direkter und flankierender Übertragung nach Formel (18) und (19).

$$R' = -10 \lg \left(10^{-R_{Dd,situ}/10} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-R_{Ff,situ}/10} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-R_{Fd,situ}/10} + \sum_{f=1}^n 10^{-R_{Df,situ}/10} \right) \quad (18)$$

$$L'_n = 10 \lg \left(10^{L_{n,d}/10} + \sum_{F=f=1}^n 10^{L_{n,Df,k}/10} + \sum_{F=f=1}^n 10^{L_{n,DFf}/10} \right) \quad (19)$$

Die Betrachtung der direkten Übertragung $R_{Dd,situ}$ muss durch Messdaten erfolgen, eine Berechnung des trennenden Bauteils mit Estrichaufbau ist derzeit nicht möglich. Zudem können keine Unterdecken berücksichtigt werden, da eine Verbesserung in der Flankenübertragung aktuell nicht berechenbar ist. Um Messdaten für das Prognoseverfahren anwenden zu können, müssen diese stets durch die Körperschall-Nachhallzeit mit Formel (20) korrigiert werden.

$$R_{situ} = R - \left(10 \lg \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} \right) \quad (20)$$

Die Berechnung der Flankenübertragung erfolgt anhand der Formeln (21) und (22). Im Gegensatz zur Einzahlberechnung wird die richtungsgemittelten Norm-Schnellepegel-differenz $\overline{D_{v,ij,situ}}$ für die Charakterisierung der Stossstellenausbildung verwendet. Ihre Berechnung erfolgt anhand des Stossstellendämm-Masses K_{ij} , welches analog zu Abschnitt 3.2. durch Messdaten oder Berechnung ermittelt werden kann.

$$R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + \overline{D_{v,ij,situ}} + \left(10 \lg \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}} \right) \quad (21)$$

$$L_{n,ij} = L_{n,situ} - \Delta L_{situ} + \frac{R_{i,situ} - R_{j,situ}}{2} - \Delta R_{j,situ} - \overline{D_{v,ij,situ}} - \left(10 \lg \sqrt{\frac{S_i}{S_j}} \right) \quad (22)$$

Das Schalldämm-Masses der flankierenden Bauteile $R_{i,situ}$ und $R_{j,situ}$ wird bestenfalls durch vorhandene Bauteilmessungen dargestellt. Zudem besteht für Massivholzbauteile die Möglichkeit das Schalldämm-Mass näherungsweise durch die Berechnung des Transmissionsgrades in Abhängigkeit der Koinzidenz-Grenzfrequenz f_c nach Formel (23), (24) und (25) zu prognostizieren. Die Verbesserung durch Vorsatzschalen $\Delta R_{i,situ}$ und $\Delta R_{j,situ}$ sollten gegebenenfalls bereits in den Messdaten der flankenbauteilen berücksichtigt sein, da derzeit kein validiertes Verfahren für deren Berechnung an Holzbauteilen vorliegt.

$$R = -10 \lg \tau \quad (23)$$

$$f < f_c: \quad \tau = \left(\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right)^2 \left(2\sigma_f \left[1 - \frac{f^2}{f_c^2} \right]^{-2} + 2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{4f\eta_{tot}} \right) \quad (24)$$

$$f > f_c: \quad \tau = \left(\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right)^2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{2f\eta_{tot}} \quad (25)$$

Die Prognose des Norm-Trittschallpegels der Wände im Übertragungsweg Dff kann nach [6] gemäss Formel (26) erfolgen⁵.

$$L_{n,f} \approx 158 - \left(30 \lg \frac{m'}{(1\text{kg/m}^2)} \right) + \left(10 \lg \frac{T_s}{(1\text{s})} \right) + (10 \lg \sigma) + \left(10 \lg \frac{f}{(f_{ref})} \right) \quad (26)$$

⁵ Es wird vermutet, dass der hier verwendete Kraftpegel, basierend auf der Mittelung des ideal plastisch- und elastischen Stoßes, die Realität besser abbildet [12], [19].

6.2. Anwendungsbeispiel und Vergleichsmessung

Für die Abschätzung der Rechengenauigkeit dieses Prognoseverfahrens werden die vier Bausituationen aus Abschnitt 5 frequenzabhängig berechnet und die Ergebnisse mit den entsprechenden Baumessungen verglichen.

Tabelle 7: Vergleich der Einzulangaben resultierend aus der frequenzabhängigen Berechnung und den Messergebnissen der Baumessungen aus Luftschall- und Trittschalldämmung

BS	Frequenzabhängige Prognose	Baumessung	Differenz
1	$R'_w = 56,5$ dB $L'_{n,w} = 43,0$ dB	$R'_w = 59,9$ dB $L'_{n,w} = 42,8$ dB	3,4 dB 0,2 dB
2	$R'_w = 56,7$ dB $L'_{n,w} = 46,6$ dB	$R'_w = 63,4$ dB $L'_{n,w} = 44,8$ dB	6,7 dB 1,8 dB
3	$R'_w = 56,6$ dB $L'_{n,w} = 48,4$ dB	$R'_w = 60,2$ dB $L'_{n,w} = 46,5$ dB	3,6 dB 1,9 dB
4	$R'_w = 60,5$ dB $L'_{n,w} = 42,9$ dB	$R'_w = 66,0$ dB $L'_{n,w} = 44,8$ dB	5,5 dB -1,9 dB

Für Einzahlwerte des Bau-Schalldämm-Masses R'_w ist eine mittlere Abweichung $\overline{\Delta R'_w} = 4,8$ dB (Standardabweichung = 1,4 dB) festzustellen. Die erhöhte Abweichung ist vermutlich auf die fehlende Berücksichtigung der Koinzidenz-Grenzfrequenz zusätzlicher Beplankungslagen und mögliche Dickenresonanzen zurückzuführen. Im Bereich des Norm-Trittschallpegels ist bereits eine sehr geringe mittlere Abweichung $\overline{\Delta L'_{n,w}} = 0,5$ dB (Standardabweichung = 1,5 dB) zu erkennen. Allgemein wird die Bausituation durch das frequenzabhängige Verfahren tendenziell unterschätzt und liegt somit auf der sicheren Seite. Dennoch ist die Bausituation durch die frequenzabhängige Berechnung deutlich näher an der Realität zu simulieren und darzustellen.

7. Zusammenfassung

Mithilfe des Bauteilkataloges der DIN 4109 [2] ist eine weitaus spezifischere Planung von Bauvorhaben im Holzbau möglich. Dennoch bestehen grosse Lücken in Hinblick auf Holzmassivbauteile sowie Kosten-Nutzen-optimierte Deckenkonstruktionen. Beitragend hierzu werden differenzierte Berechnungsmöglichkeiten, sowie Planungsdaten vorgestellt, um den Planungsprozess von trennenden und flankierenden Deckenelementen zu ergänzen. Anhand dieser Verfahren ist es möglich die Realität durch die Prognose deutlich genauer abzubilden und mögliche Verbesserungsmassnahmen zu berücksichtigen. Auch die Darstellung von Massivholzbauteilen wird durch diese Verfahren ergänzt und ermöglicht eine schalltechnische Prognose. Letztlich werden aktuelle Forschungsergebnisse im Bereich der frequenzabhängigen Berechnung von Bausituationen aufgezeigt, die bereits vielversprechende Ergebnisse liefern. Dennoch ist es sowohl für die Einzahlberechnung, wie auch für die frequenzabhängige Berechnung sinnvoll, eine rechnergestützte Umsetzung zu verwenden, welche die holzbauspezifischen Besonderheiten berücksichtigt [31].

8. Grundlagenverzeichnis

- [1] DIN 4109-1:2016-07, *Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderungen*, Berlin.
DIN 4109-2:2016-07, *Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderungen*, Berlin
- [2] DIN 4109-33:2016-07, *Schallschutz im Hochbau - Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau*
- [3] DIN 4109-1:2018-01, *Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderungen*, Berlin.
DIN 4109-2:2018-01, *Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen*, Berlin.
- [4] DIN 4109-5:2020-08, *Schallschutz im Hochbau - Teil 5: Erhöhte Anforderungen*, Berlin.
- [5] DIN EN ISO 12354-1:2017-11. *Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften: Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen*, Berlin.
- [6] DIN EN ISO 12354-2:2017-11. *Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften: Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen*, Berlin.
- [7] VDI 4100:2012, *Schallschutz im Hochbau - Wohnungen - Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz und VDI 4100:2007, Schallschutz von Wohnungen - Kriterien für Planung und Beurteilung*
- [8] DIN EN ISO 10848-1:2018-02. *Akustik - Messung der Flankenübertragung von Luftschall, Trittschall und Schall von gebäudetechnischen Anlagen zwischen benachbarten Räumen im Prüfstand und am Bau - Teil 1: Rahmendokument*, Berlin
- [9] Beiblatt 2 zu DIN 4109: 1989-11, *Schallschutz im Hochbau - Hinweise für Planung und Ausführung - Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz- Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich*
- [10] DEGA-Empfehlung 103:2009-03, *Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis*
- [11] Lang, J. (2006), *Schallschutz im Wohnungsbau*, Forschungsbericht ifip TU Wien
- [12] Hveem, S., Homb, A., Haagberg, K., Rindel, J. H. (1996:12, *Low-frequency footfall noise in multi-storey timber frame buildings*, NKB report
- [13] Jeon, J., Y., Jeong, J. H. (2002), *Objective and Subjective Evaluation of Floor Impact Noise*, Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment
- [14] Warnock, A.C.C. (2000), *Low-frequency impact sound transmission through floor systems*, InterNoise,
- [15] Scholl, W.(2001), *Das Normhammerwerk muss laufen lernen*, Tagungsband DAGA
- [16] Burkhart, C. (2002), *Tieffrequenter Trittschall – Messergebnisse, mögliche Ursachen*, Tagungsband DAGA
- [17] B. Rasmussen, J. H. Rindel (2003) *Sound insulation of dwellings – Legal requirements in Europe and subjective evaluation of acoustical comfort*. Proceedings of DAGA, 118–121
- [18] Kühn, B., Blickle R. (2004), *Trittschalldämmung und Gehgeräusche-Immission von Geschossdecken aus Holz*, WKSB
- [19] Holtz, F., Rabold, A., Buschbacher, H.P., Hessinger, J. (2003), *Verringerung der Schallabstrahlung von Holzständerwänden bei Trittschallanregung im mehrgeschossigen Holz-Wohnungsbau*. DGfH-Forschungsbericht des Labor für Schall- und Wärmemesstechnik, Stephanskirchen
- [20] Blödt, A., A. Rabold, M. Halstenberg, T. Ecker, A. Huber, L. Huissel und S.Löffler (2019). *Schallschutz im Holzbau - Grundlagen und Vorbemessung*, Holzbau Handbuch Reihe 3, Teil 3, Folge 1
- [21] Rabold, A., C. Châteaueux-Hellwig und S. Mecking (2019). *Flanking transmission of solid wood elements in multi-storey timber buildings - input data and prediction models for airborne and impact sound excitation*, Proceedings of Inter-Noise. Madrid, Spain.
- [22] Wohlmuth, B., T. Horger, E. Rank, S. Kollmannsberger, F. Frischmann, A. Paolini, U. Schanda, S. Mecking, C. Winter, T. Kruse, A. Rabold, C. Châteaueux-Hellwig, M. Schramm Markus Buchschmid und G. Müller (2018). *Vibroakustik im Planungsprozess für Holzbauten: Modellierung, numerische Simulation, Validierung*.
- [23] Timpte, A. (2016). *Stoßstellen im Massivholzbau - Konstruktionen, akustische Kenngrößen, Schallschutzprognose*. Masterarbeit. TH Rosenheim und TU Berlin.
- [24] Schramm, M., Dolezal, F., Rabold, A., Schanda, U. (2010), *Stoßstellen im Holzbau – Planung, Prognose und Ausführung*, Tagungsband DAGA.
- [25] Kruse, T. (2015), *Messtechnische Untersuchung zur Stoßstellendämmung und Ausbreitungsdämpfung von Brettsperrholzbauteilen*, Bachelorarbeit Hochschule Rosenheim
- [26] Nicklaus, S. (2017), *Untersuchung zur schalltechnischen Entkopplung von Massivholzbauteilen an Wand-Decken-Stößen*, Bachelorarbeit Hochschule Rosenheim
- [27] Hernández, A.M. (2016), *Influence of suspended ceilings to airborne and impact sound insulation in massive wooden floors*, Projektarbeit Hochschule Rosenheim
- [28] Ift Bauteildatenbank Wände
- [29] Scheck, J., S. Reihnhold, P. Eschbach und H.-M. Fischer (2016), *Messung und Prognose der Luft- und Körperschallübertragung von gebäudetechnischen Anlagen im Massivbau*, Proceedings of DAGA, Aachen
- [30] Zehetmayr, R. (2021) *Datenbankgestütztes Berechnungstool zur frequenzabhängigen Schallschutzprognose im Holzbau Masterarbeit*, TH Rosenheim
- [31] Châteaueux-Hellwig, C., Mecking, S., Brummer, B., Rabold, A. (2016), *Anwendung zur SEA basierten Berechnung nach EN 12354 für Massivholzelemente*, Proceedings of DAGA, Aachen
- [32] Rabold, A., M. Schneider, H.M., Fischer, B. Zeitler (2020), *Neue Berechnungsverfahren zur Trittschallübertragung*, Bauphysik, Ernst&Sohn
- [33] Deutscher Holzbau Verband DHV (2019), *Untersuchung der Flankenübertragung von Holztafelbauwänden mit Installationsebenen* [Verbandsprojekt]. Holzbau Deutschland, Bund Deutscher Fertigbauer BDF.

Ausführungsfehler im Schallschutz vermeiden

David Volk
PIRMIN JUNG Deutschland GmbH
Remagen, Deutschland



Ausführungsfehler im Schallschutz vermeiden

1. Einleitung

Die Faktoren, die zu Differenzen zwischen der gewünschten und der am Objekt gemessenen Luft- und Trittschallresultate führen, können in vier Kategorien unterteilt werden:

1. Beschaffenheit der Produkte (Qualität der Estriche, der Trittschalldämmungen, der schallentkoppelten Befestigungssysteme, etc.)
2. Randbedingungen (Form und Dimension der Testräume, Temperatur und Feuchtigkeit, Grundgeräusch, etc.)
3. Messverfahren (Auswahl der Positionen der Geräuschquelle, Mikrofon in feststehenden Positionen oder bewegt, Nachhallzeit mit Lautsprecher oder mit Luftballons gemessen, Zustand der Schallgeräte, etc.)
4. Ausführung

Die ersten drei Faktoren sind weniger relevant. Wie die Praxis immer wieder belegt, spielt hingegen die Ausführungsqualität eine wesentliche Rolle zur Einhaltung der Anforderungen. Die Hauptprobleme sind dabei nicht genug ausgebildete Fachkräfte auf der Baustelle und mangelnde (Fach-)Bauleitungen. Ausserdem ist die Vielfalt der am Markt befindlichen Holzbausysteme deutlich zu hoch, als dass man von standardisierten Bauabläufen und – Systemen sprechen könnte, die einfach zu überwachen sind. 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.

Aus diesem Grund wird im Folgenden das Thema Ausführungsfehler in Holzbauten genauer betrachtet. Die typischen Ausführungsfehler werden zuerst analysiert und einige Beispielfälle dargestellt. Zum Schluss werden einige Vorschläge zur Reduzierung der Ausführungsfehler aufgezeigt.

2. Typische Ausführungsfehler

Die Anzahl der möglichen Ausführungsfehler ist sehr hoch und macht eine komplette Auflistung nahezu unmöglich. Deshalb beschreiben die nachfolgenden Punkte nur die typischen und häufigsten Ausführungsfehler, die auf unseren Erfahrungen basieren.

2.1. Trittschall

1. Falsche Verlegung des Bodenbelags (s. Kapitel 3.2.):
 - 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). Ein Beispielfall ist im Kapitel 3.5 dargestellt.
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 1. Die Trittschalldämmung kann hier von 2 dB bis 15 dB verschlechtert werden, abhängig von der Länge der Berührungspunkte. Ein Beispielfall mit MW ist auch im Kapitel 3.5 dargestellt.

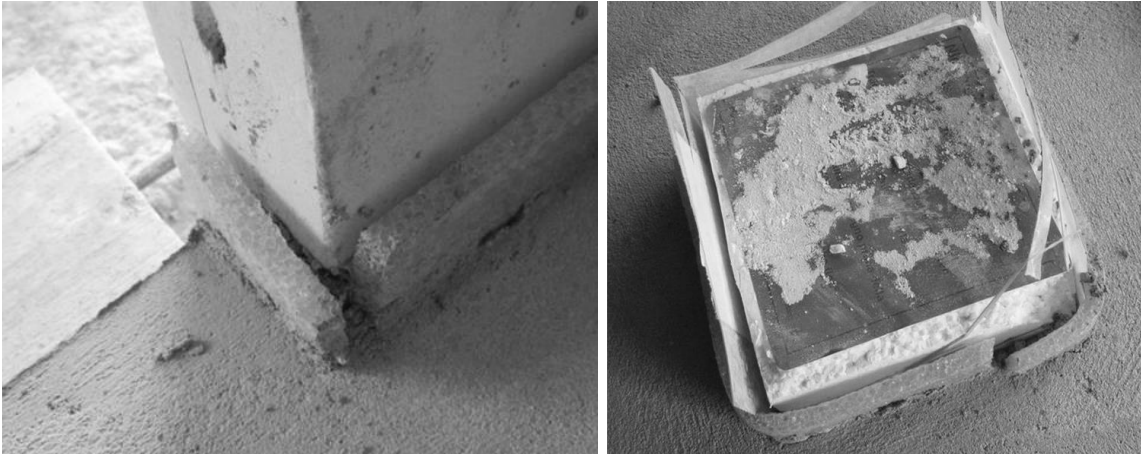


Abbildung 1: Beispiele von nicht durchgehenden Randstreifen bei einer Ecke und einem Deckendurchbruch

4. geklammerte Randstreifen an den Wänden im Bereich des Zementestrichs:
Zementestrich drückt gegen die Wand (Schallbrücke). Siehe die folgende Skizze.

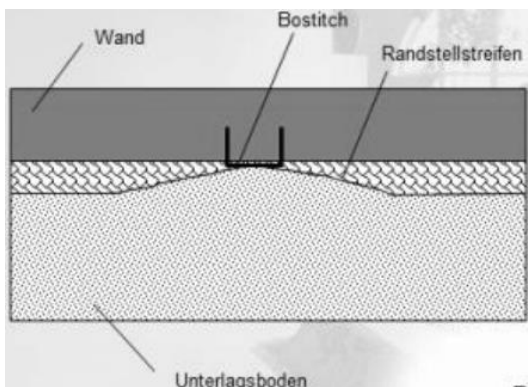


Abbildung 2: Beispiel von falsch geklammerten Randstreifen im Bereich des Zementestrichs
(Quelle: Pavidensa)

5. Berührung zwischen der Installationsebene und dem Estrich: Abhängig von der Länge der Berührungspunkte wird der Trittschall mehr oder weniger verschlechtert
6. Schmutz, Abrieb, Nivelliermasse oder Kleber in der Fuge zwischen Wand und Estrich/Bodenbelag.



Abbildung 3: Beispiel von Fuge zwischen Wand und Zementestrich mit Abrieb

7. 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 Rohrgefälle, die Rohrkreuzungen sowie die Verkleidungsstärke der Rohre (die schallgedämmte Ummantelung der Abwasserrohre wird häufig mit Geberit ISOL ausgeführt, das eine Stärke von 17 mm aufweist). Somit ist die Splittschicht entsprechend zu erhöhen, damit die darüber liegende Trittschalldämmung durchgehend ist. Die Verschlechterung solcher Einbaufehler kann ca. 6 dB betragen.

8. Zu fest angezogene Abhänger bei schallentkoppelt abgehängten Decken mit z.B. Federschienen oder Direktschwingabhängern: Minderung des Schallschutzes. Gemäss Angaben von z.B. *Knauf* sind die Federschienen mit ca. 1 mm Abstand zu den Holzbalken/Holzplatten in den Schraubenköpfen hängend zu montieren, um den Körperschall entsprechend zu reduzieren.

2.2. Luftschall

1. Starre Verbindungen zwischen den Schalen einer zweischaligen Trennwand: Zur Einhaltung der erhöhten Anforderungen ist es häufig notwendig, dass die Trennung zwischen den Schalen einer zweischaligen Trennwand durchlaufend ist. Auf der Baustelle wird zum Beispiel vergessen werden, die Innenverkleidung der Aussenwand im Bereich der Trennwand zu trennen oder es wird eine Rohrschelle an beiden Schalen der Trennwand befestigt (siehe folgende Abbildung). Die Folge solcher Einbaufehler in der Luftschalldämmung hängt stark vom Typ der starren Verbindung ab und kann eine Verschlechterung bis zu 15 dB verursachen.



Abbildung 4: Beispiel der falschen Befestigung der Rohrschelle an der zwei-schaligen Trennwand

2. Massivholzwände mit elastischer Lagerung (unten oder oben) durchgeschraubt oder mit starren Befestigungsmitteln am Deckenaufbau (siehe folgende Abbildung) befestigt: Unter Berücksichtigung einer Vollholzdecke kann die Montage mit solchen Befestigungsmitteln eine Verbesserung des Stossstellen-Masses von lediglich 2-4 dB (Anordnung der Zwischenschicht entweder oben oder unten) oder 5-10 dB (Anordnung der Zwischenschicht oben und unten) erbringen.



Abbildung 5: Vollholzwand mit Schallschutzlager und ohne schallentkoppelten Befestigungsmittel

3. Im Boden durchgehenden Elektrotrasse unter der Trennwand zwischen zwei Räumen: Wenn diese Trasse nicht entsprechend gestopft wird, kann die Verringerung des Schallschutzes um bis 5 dB betragen. Ein Beispiel dieses Einbaufehlers ist im Kapitel 3.1. dargestellt.

2.3. TGA

1. 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 unten, 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. Zu beachten ist auch, dass die Steigzone an der Rückwand nicht befestigt wird, sondern ebenfalls 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.
2. Ebenfalls wenn die Abwasserfallleitung an der Aussenwand aus Holzrippen (oder Vollholz) befestigt werden und angrenzend ein Schlaf- oder Wohnzimmer ist, erfolgen die Körperschallübertragungen durch die Beplankung der Aussenwand zum Zimmer (siehe folgende Abbildung, rechts). Der Schalldruckpegel im Zimmer ist in diesem Fall sicher niedriger als im letzten Beispiel, jedoch können die Anforderungen auch nicht erfüllt werden, wenn sich die Wohnung im Erdgeschoss befindet (Prallgeräusch). Das Rohr ist an freistehenden Metallständern schallentkoppelt zu befestigen.

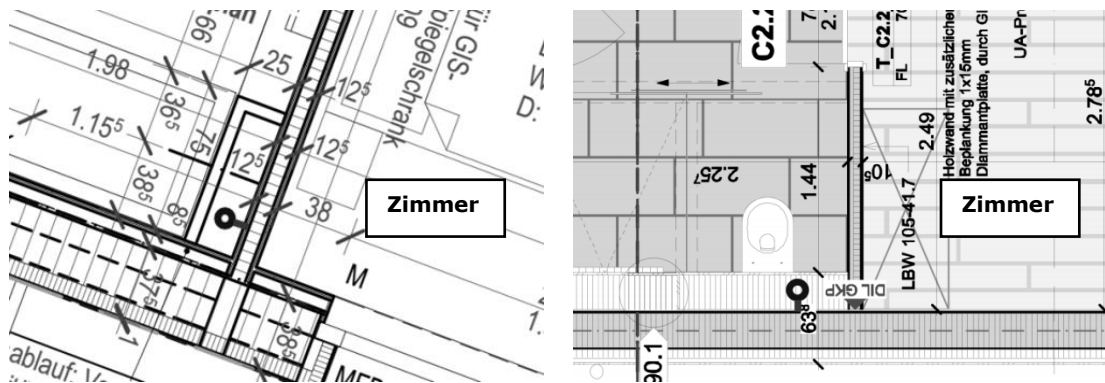


Abbildung 6: Beispiele von falsche Befestigungen der Abwasserfallleitung an der Zimmerwand (links, Körperschallübertragung durch die Zimmerwand) oder an der Aussenwand (rechts, Körperschallübertragung durch die Aussenwand)

3. Starre Berührung zwischen Rohren (Sanitär-, Heizungs- oder Lüftungsrohre) und angrenzenden Holzbauteilen: Somit Erhöhung der Körperschallübertragungen.

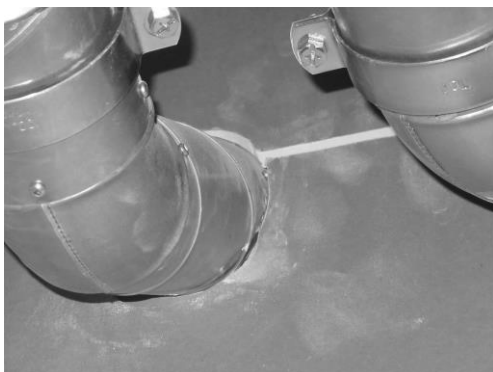


Abbildung 7: Starre Berührung zwischen Lüftungsrohre und Wand

4. Abwasserrohre im Überbeton von HBV-Decken mit dünnem Dämmschlauch bekleidet und Befestigung ohne schallentkoppelte Rohrschellen: Die Einhaltung der Anforderungen ist in diesem Fall sehr knapp, deshalb ist das Rohr mit einer entsprechender Verkleidung zu ummanteln (z.B. *Geberit Isol* o.ä.) und mit schallentkoppelten Rohrschellen oder Kabelbindern zu befestigen.

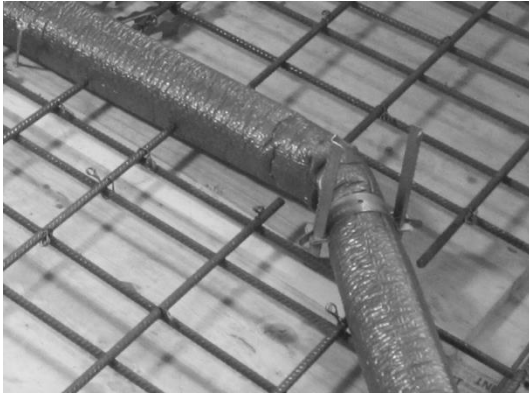


Abbildung 8: Abwasserrohr im Überbeton der HBV-Decke mit einer zu dünneren Ummantelung und keine schallentkoppelte Befestigung

3. Beispiele

3.1. Bürobauten

In diesem Beispielfall wurde eine zweischalige Metallständerwand zwischen zwei Praxisräumen gemessen. Während der ersten Messung wurde deutlich wahrgenommen, dass das Geräusch des Lautsprechers aus der im Boden integrierten Elektrotrasse kam. Diese Trasse war tatsächlich leer und durchlaufend unter der Trennwand (siehe folgende Abbildung). Daher wurde die Trasse mit Mineralwolle temporär gestopft und die Luftschallmessung wieder durchgeführt. Die Luftschalldämmung verbesserte sich von 49 dB auf 54 dB.

Durchlaufende Elektrotrassen sind generell zu vermeiden, insbesondere wenn hohe Anforderungen zwischen den Räumen zu erfüllen sind. Alternativ sind die Elektrotrassen mit Mineralwolle zu stopfen (zumindest mit einer Länge von 50 cm ab Vorderkante Trennwandseite).

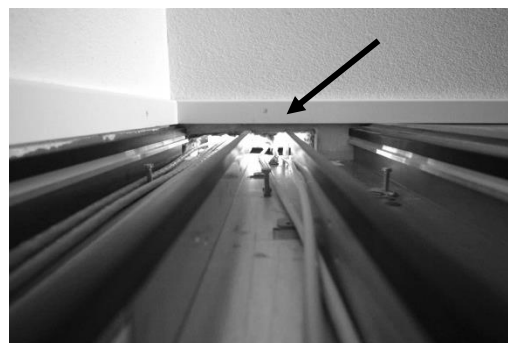
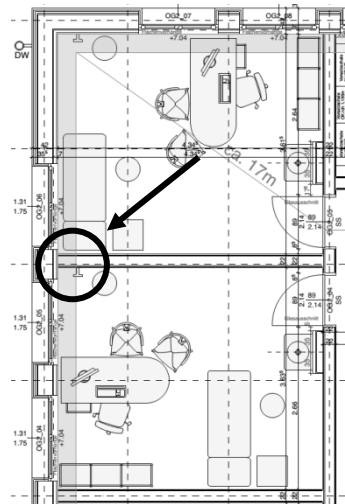
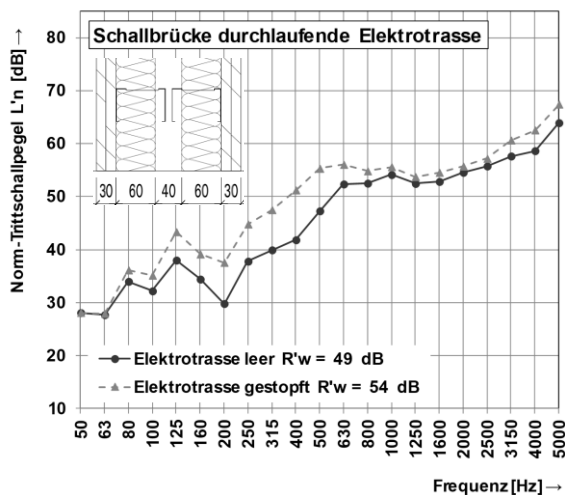


Abbildung 9: Einfluss der Schallübertragungen durch eine durchlaufende leere Elektrotrasse unter einer Trennwand

3.2. Nicht richtig verklebtes Parkett/Fliesen

Im gleichen Gebäude wurde die Trittschalldämmung von zwei Decken gemessen. In beiden Zimmern wurde die Messung zuerst auf dem Zementestrich und danach auf dem Parkett durchgeführt. Der Deckenaufbau besteht aus einer HBV-Decke mit 120mm Brettstapel und 140mm Überbeton, 2x20mm Glaswolle und 80mm Zementestrich. Die Ergebnisse der Messungen (siehe Abbildung 10) zeigen, dass nach der Verlegung des Parketts der bewertete Norm-Trittschallpegel um ca. 6 dB in beiden Räumen verschlechtert wurde. Der Frequenzverlauf zeigt, dass die Verschlechterung die Frequenzen von 50 bis ca. 1250 Hz betrifft. Ab 1600 Hz gibt es praktisch keinen Unterschied. Interessant ist, dass sich bei einem richtig verlegtem Parkett (siehe Abbildung 11, in zwei verschiedenen Gebäuden auf zwei verschiedenen Deckenaufbauten gemessen) der Frequenzverlauf völlig umgekehrt, mit einer Verbesserung nach dem Verlegen des Parketts ab ca. 1600 Hz. Das ist der normale Einfluss eines Parketts und zwar eine Verbesserung zwischen 1 dB und 5 dB, abhängig vom Parketttyp. Der Ausführungsfehler in den ersten zwei Räumen betrifft vermutlich den Kleber, der unter dem Parkett nicht vollflächig verlegt wurde. Eventuelle Berührungen zwischen Parkett und Wänden sind auszuschließen, da in diesem Fall die Verschlechterung im Hochtonbereich liegen würde.

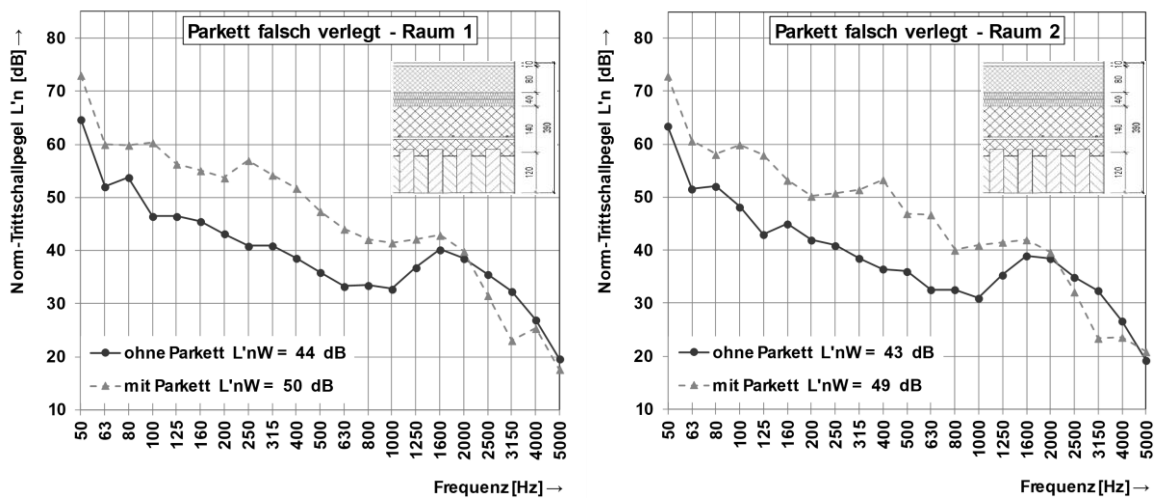


Abbildung 10: Einfluss der **falschen Verlegung** des Parketts in zwei Räumen des gleichen Gebäudes (HBV-Decke mit schwimmendem Zementestrich)

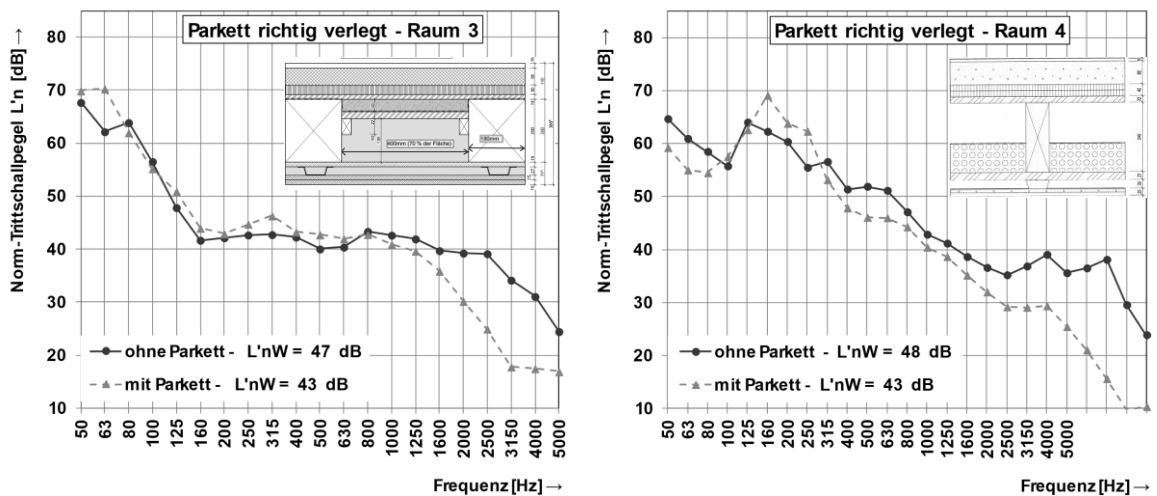


Abbildung 11: Einfluss der **richtigen Verlegung** des Parketts in zwei Räumen unterschiedlicher Gebäude (links: Rippendecke mit schwimmendem Calciumsulfatestrich und abgehängter Decke, rechts: Hohlkastendecke mit Zementestrich und abgehängter Decke)

Dieser Beispielfall betrifft das gleiche Gebäude, wo vier HBV-Decken gemessen wurden. Die ersten Messungen (Wohnzimmer Typ 1) wurden auf zwei Decken durchgeführt, wo alle Wohnzimmer die gleichen Volumina, die gleichen Geometrien und die gleichen Nebenwegübertragungen aufgewiesen haben. Die zweiten Trittschallmessungen (Wohnzimmer Typ 2) wurden ebenfalls auf zwei Decken von anderen Wohnzimmern, die auch untereinander identisch waren, durchgeführt. Der Unterschied zwischen den Deckenaufbauten betraf lediglich den Bodenbelag, einmal aus Fliesen und einmal aus Vinyl.

In beiden Fällen ist der Deckenaufbau mit dem Fliesenboden von 5 dB bis 9 dB schlechter als der gleiche Deckenaufbau mit dem Vinylboden. Bei den Wohnzimmern Typ 1 beginnt der Unterschied ab ca. 1600 Hz, bei den Wohnzimmern Typ 2 beginnt der Unterschied bereits ab 315 Hz. Diese sind die typischen Frequenzverläufe aufgrund der starren Berührung zwischen dem Fliesenboden und den Wänden. Vermutlich war die Länge der Berührungspunkte bei der Messung 1 etwa grösser als die Berührungspunkte bei der Messung 2.

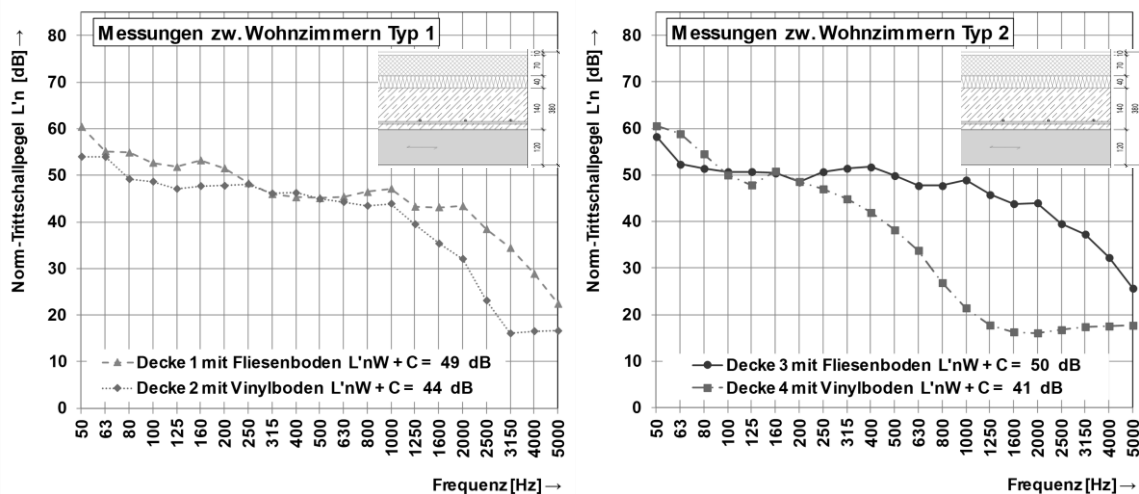


Abbildung 12: Einfluss der falschen Verlegung der Fliesenbeläge in zwei identischen Wohnzimmern des gleichen Gebäudes (HBV-Decke mit schwimmendem Zementestrich)

3.3. Tieffrequente Probleme bei abgehängten Decken

Abgehängte Unterdecken verbessern nicht in jedem Fall den Schallschutz. Diese sind 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. Nicht durch den Akustiker ausgelegte Unterdecken können z.B. bei Brettsperrholzdecken mit Beschwerung zu Verschlechterungen bis zu -16 dB im tieffrequenten Bereich führen. Das Beispiel zeigt eine Verschlechterung um 5 dB selbst bei schweren HBV-Decken, wenn die Unterdecke nicht durch den Akustiker ausgelegt wurde:

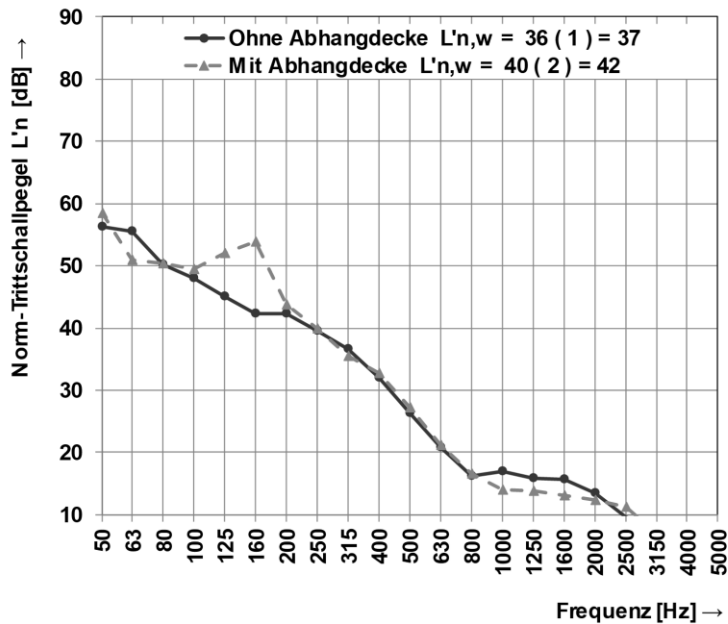


Abbildung 13: starr verbundene Unterdecke mit 60 mm Lattung und 12,5 mm GKB bei einer HBV-Decke.

3.4. Befestigung von Fussbodenheizungen

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

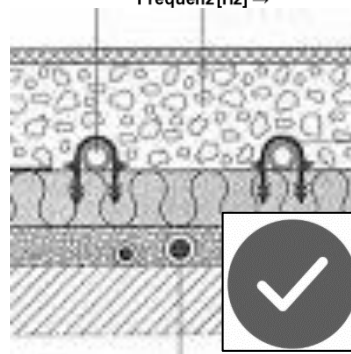
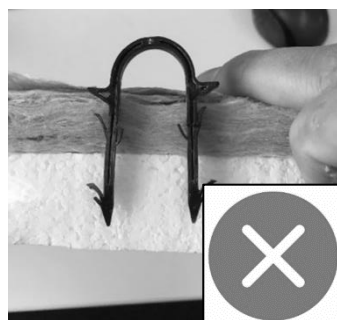
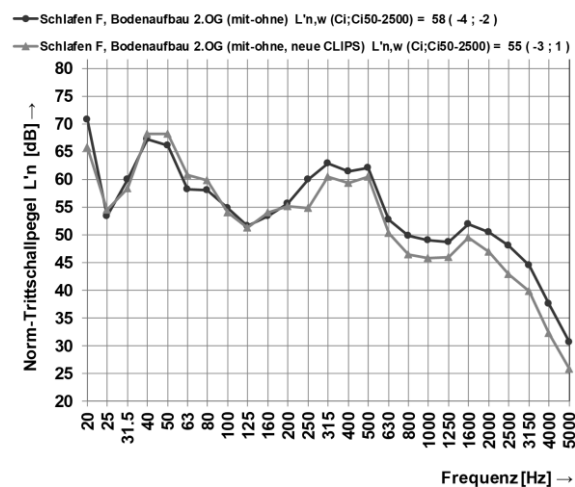


Abbildung 14: Zu lange Tackernadeln der Fussbodenheizung führen zu Körperschallbrücken

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

3.5. Randstreifen

Die Randstreifen des Estrichs sind mit PE-Schaum (mind. 10 mm) auszuführen und müssen sauber in und um Ecken, Türzargen und dergleichen verlegt werden (Siehe unten).

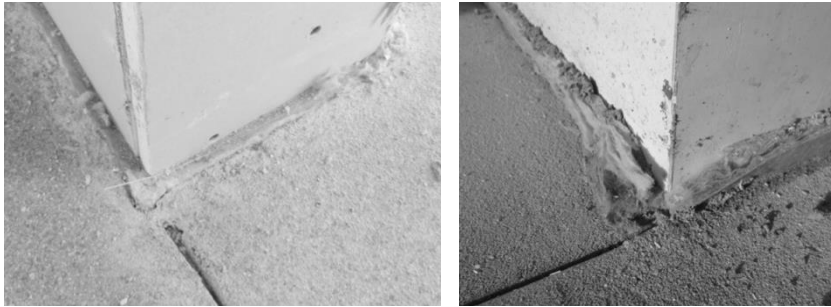


Abbildung 15: Randstreifen in verschiedenen Ausführungen

Die Befestigung der Randdämmstreifen muss mit Klebeband (oder mit wieder entfernbaren Heftklammern) zwingend oberhalb des Estrichs erfolgen, damit Schallbrücken vermieden werden (siehe unten).

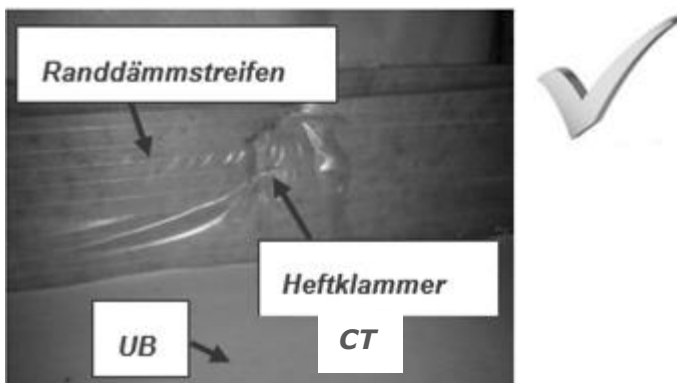


Abbildung 16: richtig verlegter Randstreifen

Der Bodenbelag darf keine Verbindung mit der Wand aufweisen. Ebenso ist die Sockelleiste vom Bodenbelag entkoppelt anzubringen (z.B. Sockelleistenband von Hafner benutzen). Das ist besonders wichtig bei harten Bodenbelägen (z.B. Fliesen).

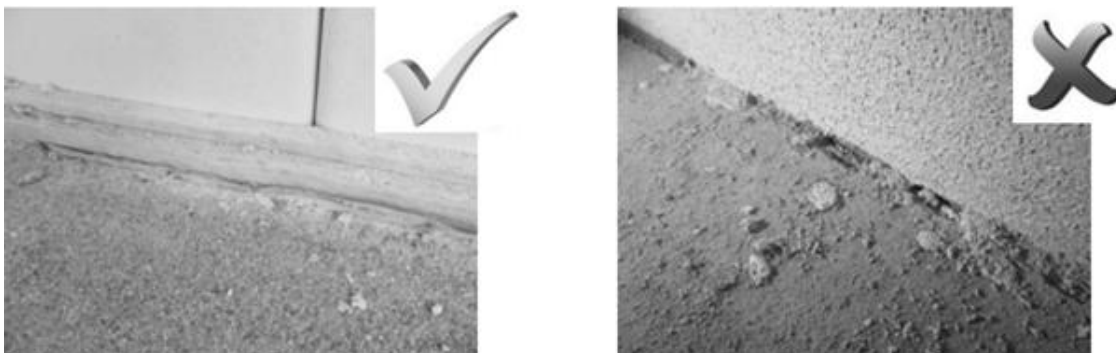


Abbildung 17: richtig verlegter und überstehender Randstreifen

Es darf kein Schmutz, kein Abrieb und auch keine Nivelliermasse oder Kleber in die Fuge zwischen Wand und Unterlagsboden/Bodenbelag gelangen.

4. Zusammenfassung

In diesem Referat wurden typische Ausführungsfehler aufgelistet und einige Beispielfälle dargestellt.

Folgende Vorschläge zur Vermeidung von Ausführungsfehlern werden gemacht:

1. In den LPH1 – 3 sind die heiklen Punkten 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)
2. 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.
3. (Fach-) Bauleitung: Konkrete Kontrollen der für den Schallschutz relevanten Punkte aus dem Schallschutznachweis.
4. Baustellenkontrollen sind 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
5. Schallmessungen in der Baustellenphase wären optimal, um eventuelle Schallbrücken zu entdecken und kurzfristig zu lösen
6. 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.

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 deutsche Schallschutznormung kennt seit jeher den Frequenzbereich von 100 Hz bis 3150 Hz als Auswertebereich für bauakustische Kennwerte. Dabei erfolgt im Bereich des Trittschalls die Bewertung durch die Anregung mit einem Normtrittschallhammerwerk und der anschließende «Vergleich» mit einer Bezugskurve. Dabei wird für den bautechnische nachzuweisenden Schallschutz 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 allerdings klagen Nutzer unabhängig von der Bauweise über tieffrequente Störungen verursacht von Gehgeräuschen. 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 $L'_{n,w}$ und kommen sowohl bei «guten» als auch schlechten Decken 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 ausreichend ist. Hierbei kann sowohl der Frequenzbereich der Bewertung aber auch die Art der Anregung in Frage gestellt werden. Was den zu bewertenden Frequenzbereich angeht ist dieser in Abbildung 1 dargestellt.

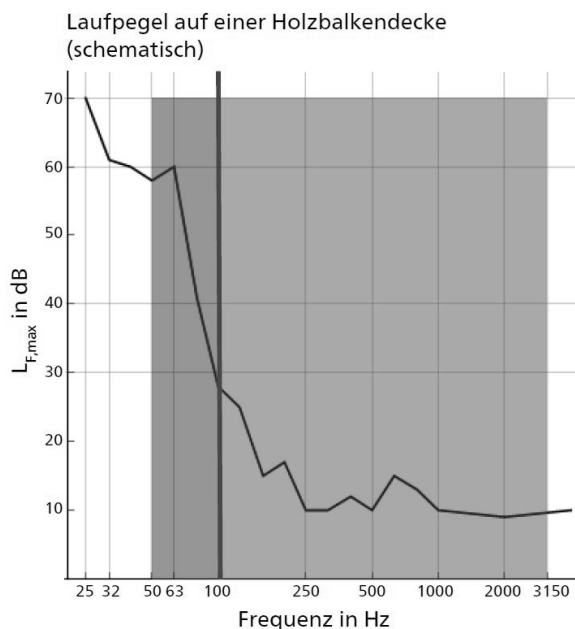


Abbildung 1: schematische Darstellung des Laufpegels unter einer Holzdecke

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 Kurve für den Laufpegel (Schallpegel, den ein «Standardgeher» hervorruft) liegt im roten Bereich bei relativ geringen Pegeln. Das heisst die Schallenergie, die eine Deckenkonstruktion in diesem Bereich durch einen Geher überträgt, ist vergleichsweise gering. Der Vergleich ist in diesem Fall bei der Betrachtung des blauen Bereichs zu ziehen. 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, wird aktuell kein Kennwert gebildet. Man könnte getrost von einem «tauben Fleck» sprechen. Diese Fehlstellung kann durch die Erweiterung des Betrachtungsspektrums bis auf 50 Hz korrigiert 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 = Impact für den Frequenzbereich von 50 – 2500 Hz). Dadurch wird erreicht, dass bei Anregung durch das Normtrittschallhammerwerk auch die Bereiche erfasst werden die hohe Laufpegel hervorrufen können. Werden nun «gehör richtig» bewertete Pegel (A-bewertete Pegel) über den $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ aufgetragen ergibt sich ein klar erkennbarer Zusammenhang, bei dem mit sinkendem $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ auch die Störwirkung bei Nutzern abnimmt, dies ist in Abbildung 2 zu sehen.

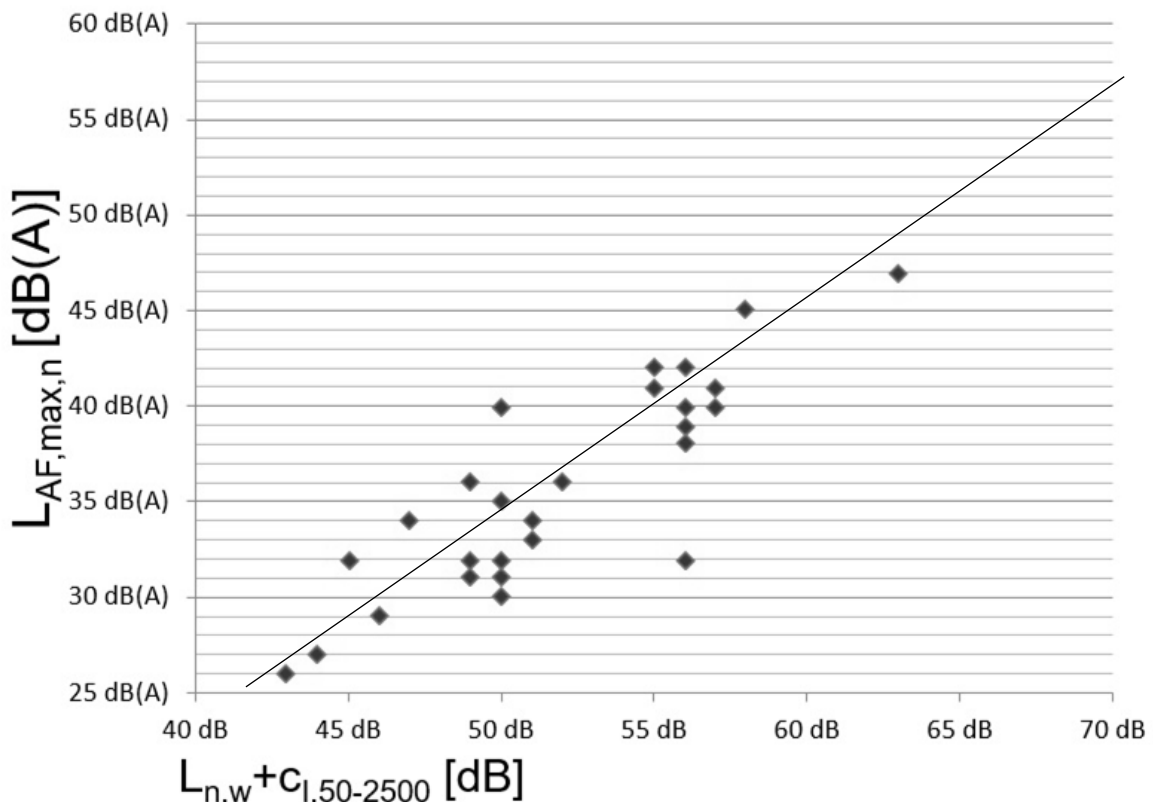


Abbildung 2: schematische Darstellung des «gehör richtig» bewerteten Pegel über dem Deckenmesswert $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$

Der in Abbildung 2 zu erkennende Effekt ist bei gleicher Vorgehensweise mit dem $L_{n,w}$ nicht zu sehen. Wird die «gehör richtige» Bewertung mit dem $L_{n,w}$ verglichen, so lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen verbessertem Deckenkennwert und geringerer Störwirkung herstellen. Trotz der sehr guten Datenlage hinsichtlich der Relevanz der tiefrequenten Trittschallgeräusche und dem Deskriptor $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ 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 aus 1,0m Höhe sehr gezielt im tieffrequenten Bereich angeregt, was Gehgeräuschen bzw. störenden Laufgeräuschen näherkommt als die Anregung mit dem Trittschallhammerwerk. Im europäischen Raum ist diese Methode noch nicht weit verbreitet, während diese

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 $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$.

1.1. Anforderungskenngrößen, welche tiefe Frequenzen berücksichtigen

Wie bereits beschrieben und erläutert sind über den Normtrittschallpegel hinausgehende Kenngrößen erforderlich. Dabei wird immer darauf abgestellt, ob ein Laufgeräusch noch störend ist oder nicht. Für die meisten Menschen liegt die Störschwelle gegenüber Trittschall bei 33 – 36 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 «gehörriichtig» bewertete Pegel unter 33 dB(A), sind Trittschallgeräusche nicht oder nicht mehr störend wahrzunehmen. Unter Zuhilfenahme des Zusammenhangs in Abbildung 2 lassen sich daraus Anforderungskenngrößen herleiten. Dies ist in Abbildung 3 dargestellt.

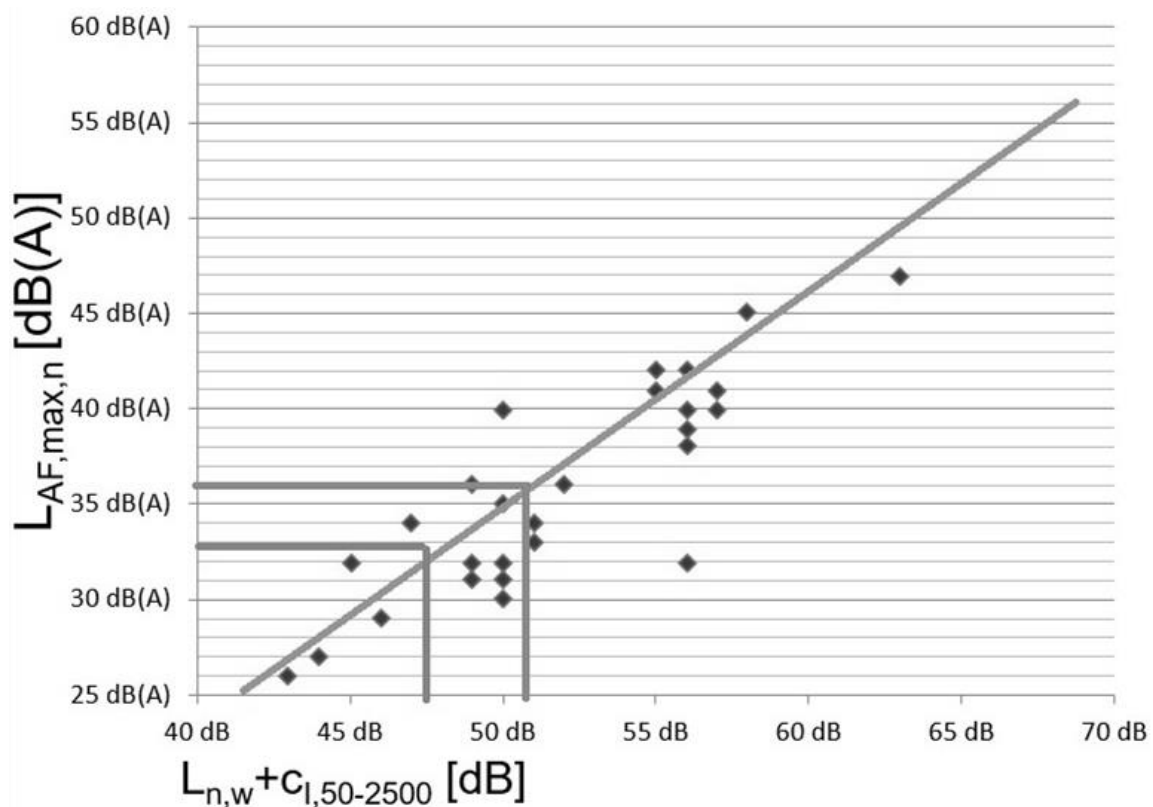


Abbildung 3: schematische Darstellung des «gehörriichtig» bewerteten Pegel über dem Deckenmesswert $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ sowie Eintragung der Wahrnehmungsschwellen

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 Tabelle 1.

Hier wurde ein Tabellenwerk entwickelt, welches die oben ausgeführten Erkenntnisse aufnimmt und als Empfehlungswerte für die Vereinbarung eines Schallschutzniveaus niederlegt.

Tabelle 1: Niveauevereinbarungstabelle aus [1] ergänzt um DIN 4109-5:2020

Bauteil / Schallschutzniveau	Mindestschallschutz muss gewährleistet werden	erhöhter Schallschutz wird vertraglich vereinbart		
	BASIS = DIN 4109-1:2018	BASIS +	KOMFORT	DIN 4109-5:2020
1 Wohnungstrennwand	$R'_{w} \geq 53$ dB	$R'_{w} \geq 56$ dB	$R'_{w} \geq 59$ dB	$R'_{w} \geq 56$ dB
2 Reihenhaustrennwand	$R'_{w} \geq 62$ dB	$R'_{w} \geq 62$ dB $R_w + C_{50-5000} \geq 62$ dB ^{1) 5)}	$R'_{w} \geq 67$ dB $R_w + C_{50-5000} \geq 65$ dB ^{1) 5)}	$R'_{w} \geq 67$ dB ⁶⁾
3 Wohnungstrenndecke	$R'_{w} \geq 54$ dB	$R'_{w} \geq 57$ dB	$R'_{w} \geq 60$ dB	$R'_{w} \geq 57$ dB
4 Wohnungstrenndecke Trittschall	$L'_{n,w} \leq 53/50$ dB ³⁾	$L'_{n,w} \leq 50$ dB $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 50$ dB ²⁾	$L'_{n,w} \leq 46$ dB $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 47$ dB ²⁾	$L'_{n,w} \leq 45$ dB
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	$L'_{n,w} \leq 45$ 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	$L'_{n,w} \leq 45$ dB
7 Treppenlauf und Podeste	$L'_{n,w} \leq 53$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB	$L'_{n,w} \leq 47$ dB
8 Aussenlärm	Aussenlärm nach Lärmpegelbereich und Anforderungen der DIN 4109	Aussenlärm nach Lärmpegelbereich und Anforderungen der DIN 4109	Anforderungen nach DIN 4109 inkl. Berücksichtigung $C_{w,50-5000}$ für das opake Bauteil ⁴⁾	Aussenlärm nach Lärmpegelbereich und Anforderungen der DIN 4109
9 Weitere Bauteile ⁷⁾	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-5:2020	nach DIN 4109-5:2020

¹⁾ ergänzender Luftschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken

²⁾ ergänzender Trittschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken

³⁾ Sonderregelung für Deckenkonstruktionen, die der DIN 4109-33:2016 zuzuordnen sind, ansonsten $L'_{n,w} \leq 50$ dB

⁴⁾ für Fensterflächenanteile über 30% gesonderte Betrachtung, reine Bauteilanforderung

⁵⁾ Anforderung an die Doppelschalenwand, beide Wände

⁶⁾ wird eine Unterkellerung als Weisse Wanne mit durchlaufendem flankierenden Aussengewinde ausgeführt. Gilt $R'_{w} \geq 64$ dB

⁷⁾ der Schallschutz von gebäude- und raumlüftungstechnischen Anlagen (Haustechnik) wird in dieser Vereinbarung nicht betrachtet

Dabei wird hier auf Trittschallgeräusche abgezielt, da die Anregung im tieffrequenten Bereich sehr dominant beim Gehen stattfindet. 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 Reihenhaustrennwand. Bei dieser «Wandart» kann es je nach Lage des Treppenhauses im Gebäude auch zu einer Anregung durch Laufen kommen, vor diesem Hintergrund wird bei [1] eine Berücksichtigung der tiefen Frequenzen empfohlen, welche sich aus dem Vorliegen von Gehgeräuschen ableiten lässt.

2. Massnahmen zur Minderung der tieffrequenten Übertragung

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 vielfältiger Art und müssen gesondert betrachtet werden. Im Rahmen dieses Beitrags sollen nun die Balkenlage und die Massivholzdecke aus Brettspertholz genauer betrachtet werden. Dabei werden aber nicht alle Massnahmen zur Verbesserung des $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ dargestellt. Neben der Erhöhung der Masse und der Estrichdicke, dürfte für eine Balkenlage das grösste Potential für eine Balkenlage in der Optimierung der Lagerungseigenschaften von Unterdecken liegen. Deshalb soll an 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 Beschwerung in Verbindung mit einer Unterdecke hinsichtlich des Trittschalls zu verbessern. Tatsächlich ist es unumstritten, dass der bewertete Standard- oder Normtrittschallpegel durch beide Massnahmen erheblich verbessert wird. Wird jedoch das erweiterte Frequenzspektrum durch den $C_{1,50-2500}$ 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. Dies führt zu Mehrkosten durch eine zusätzliche Bauteilschicht sowie durch die grössere statische Belastung.

Wie jedes Feder-Masse-System besitzt auch die Unterdecke (Masse = GK Beplankung / Feder = Abhängesystem) mindestens eine «ausgeprägte» Eigenfrequenz. Liegt diese Eigenfrequenz über 20 – 25 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 oder schwererer Beplankung kann die Eigenfrequenz unter 20 Hz ausgelegt werden, siehe Abbildung 4 und Abbildung 5.

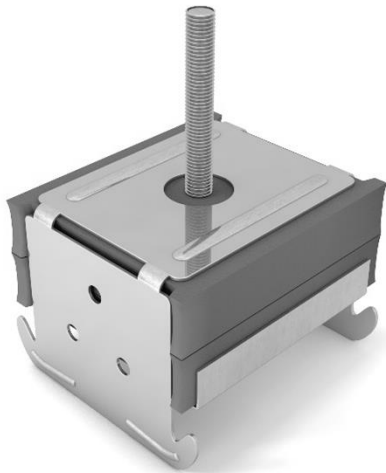


Abbildung 4: Abhängesystem mit grösserer möglicher Abhängehöhe z.B. Regopol QHF plus

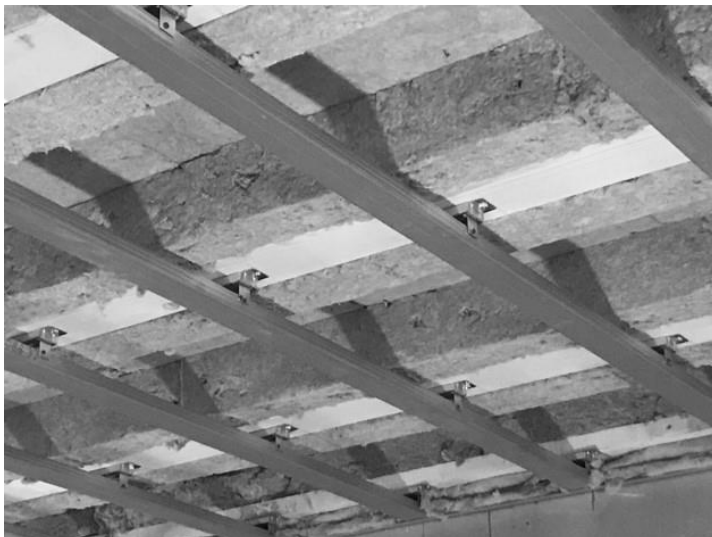


Abbildung 5: vormontierbares Abhängesystem mit minimaler Abhängehöhe z.B. Knauf VF5

Wie in Abbildung 6 zu sehen ist, sind die Auswirkung der Eigenfrequenz auf das Übertragungsverhalten beim Trittschall deutlich zu erkennen. Systeme mit hohen Eigenfrequenzen, wie zum Beispiel Abhängungen aus Federschienen, weisen sehr hohe Pegel im Bereich unter 100 Hz trotz schwerer Schüttung auf. Wohingegen Systeme ohne Schüttung und weichem Abhängesystem ($f_0 = 16$ Hz) geringere Trittschallpegel bei 50 – 63 Hz hervorrufen.

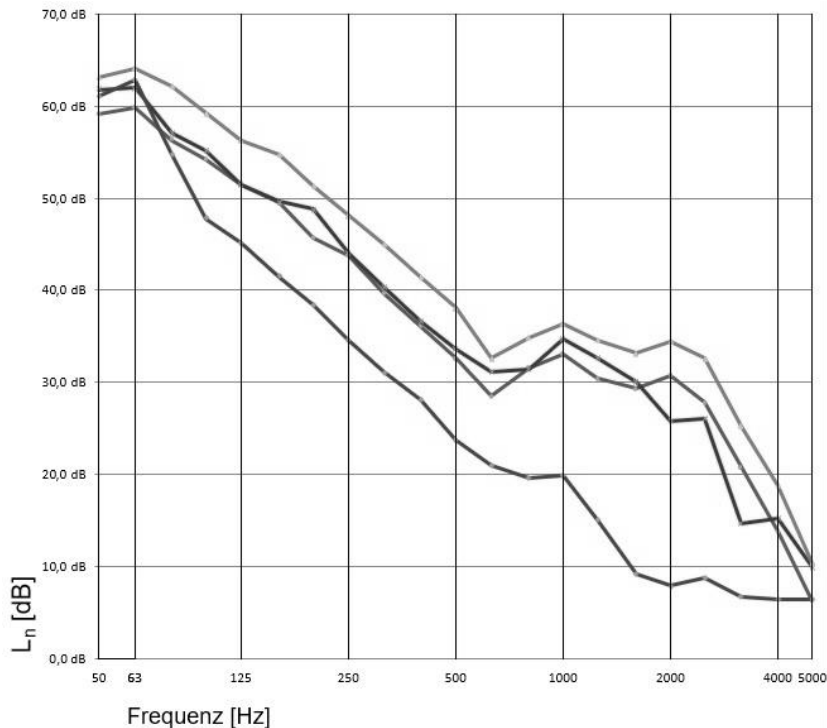


Abbildung 6: Einfluss der Unterdeckeneigenfrequenz auf den Normtrittschallpegel blau: 2 x 18mm GKF $f_0 = 16$ Hz / rot 1 x 25mm GKF + 12,5 mm GKF an Federschiene $f_0 = 32$ Hz / grün: 1 x 18mm GKF $f_0 = 28$ Hz / violett 1 x 25mm GKF + 12,5 mm GKF an Federschiene sowie Beschwerung 60 kg/m² auf der Balkenlage $f_0 = 32$ Hz

Dies kommt auch bei der Betrachtung der Einzahlwerte zum Ausdruck.

Blaue Kurve: $L_{n,w} = 41$ dB $L_{n,w} + C_{I,50-2500} = 49$ dB
Balkenlage mit optimierter Abhängung und 2 x 18 mm GKF

Violette Kurve: $L_{n,w} = 33$ dB $L_{n,w} + C_{I,50-2500} = 51$ dB
Balkenlage mit Schüttung und Federschiene sowie 25mm + 12,5 mm GKF Beplankung

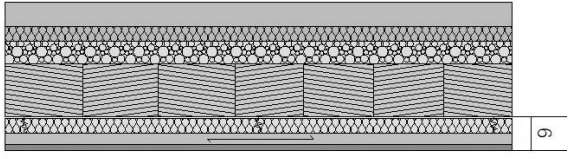
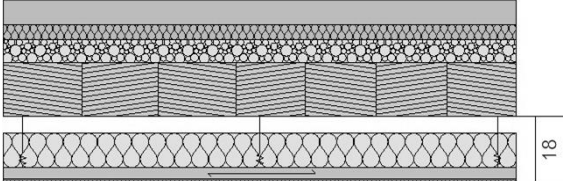
Trotz erheblich besserer Werte im Normauswertebereich ($L_{n,w} = 33$ dB zu $L_{n,w} = 41$ dB) zeichnet sich die Decke ohne Schüttung und optimierten Abhängsystem mit Werten von $L_{n,w} + C_{I,50-2500} < 50$ dB aus. Dies wird mit einer sehr wirtschaftlichen Decke ohne weitere Beschwerung erreicht. Dieser 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 in nachstehender Tabelle nur die Einzahlwerte der Trittschallübertragung miteinander verglichen werden.

Tabelle 2: Vergleich verschiedener Massivholzdeckenausführungen 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/m ² Beschwerung

	24 dB	29 dB	53 dB	Massivholzdecke mit 90 kg/m ² Beschwerung zusätzlich Unterdecke mit Abstand 90 mm
	23 dB	26 dB	49 dB	Massivholzdecke mit 90 kg/m ² Beschwerung zusätzlich Unterdecke mit Abstand 180 mm

In Tabelle 2 wird deutlich, dass die Unterdecke eine sehr grosse Verbesserung des $L_{n,w}$ mit sich bringt. Wird aber der Bereich unter 100 Hz durch den $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ untersucht, so führen Unterdecken mit Abhängeshöhen unter 200 mm zu einer Verschlechterung des subjektiv wahrnehmbaren übertragenen Trittschalls. Dies liegt auch hier im Feder-Masse System und dessen Eigenfrequenz begründet. 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 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 Abhängeshöhen $d \geq 200$ mm zu empfehlen. Ansonsten sollte bei Massivholzdecken ohne Unterdecke die flächenbezogene Masse der elastisch gebundenen Schüttbeschwerung erhöht werden, um Verbesserung im tieffrequenten und dem Normspektrum zu erzielen.

3. Differenzierte Betrachtung der Trittschallübertragung



Abbildung 7: Cover der Informationsdienst Holz Schrift zur differenzierten Flankenbewertung [2]

In diesem Abschnitt soll ein kurzer Überblick über den Inhalt der in Abbildung 7 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 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 4109-2:2016/2018 [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. Messungen liegen häufig deutlich günstiger als dies in der 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 D_f (grüner Pfad in Abbildung 8) und K_2 für den Weg für die Randeinbindung der Decke/Estrich D_{ff} (roter Pfad in Abbildung 8). 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 verwendet. 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. Deshalb 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 8 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 sehr genauen 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.

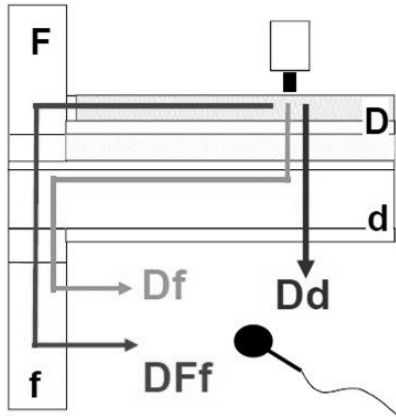


Abbildung 8: Darstellung der einzelnen Übertragungspfade bei der Trittschallübertragung

$L_{n,Df,lab,w} = 10 \log \left(10^{\left(\frac{L_{n,d,w} + K_1}{10} \right)} - 10^{\left(\frac{L_{n,d,w}}{10} \right)} \right)$	(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)
$L_{n,DFf,w} = L_{n,DFf,lab,w} - \Delta R_{ij,w} - \Delta K_{ij} - 10 \log \left(\frac{S_i}{l_0 l_{ij}} \right)$	(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)
 ΔK_{ij} : Verbesserung des Stossstellendämmmasses aus Herstellerangaben¹

Sind die bewerteten Normflankenpegel berechnet und ist $L_{n,w}$ 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 «verschmelzen» 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

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

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.

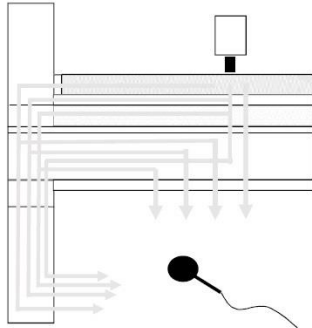


Abbildung 9: Gesamtübertragung an der Stossstelle ohne Betrachtung einzelner Pfade

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

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.

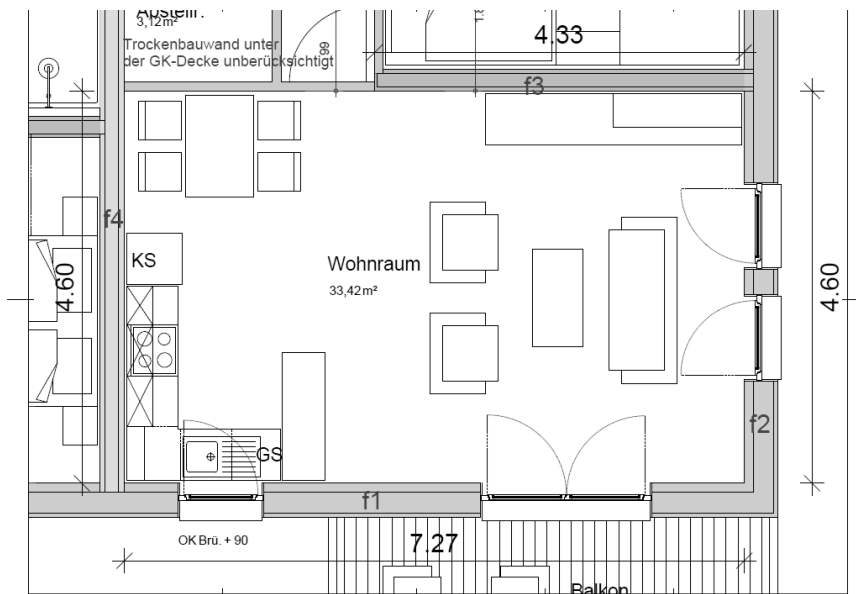


Abbildung 10: Grundrissssituation 2.OG zu 1.OG (Grundrisse deckungsgleich)

- Wohnungstrenndecke: $L_{n,w} = 37$ dB
 Balkenlage mit schwimmenden ZE auf Mineralfaser mit 2 lagiger Unterdecke (2 x 18mm GKF) an Abhängung gemäss Abbildung 5
- 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 4109-2:2016/2018 [4]

$L_{n,w} = 37$ dB
 Ungünstigste Flanke → f3
 $K_1 = 6$ dB ([4] Tabelle 3 Zeile 1)
 $K_2 = 2$ dB ([4] Tabelle 4)
 $(L_{n,Dff,w} = 40$ dB ([4] Tabelle 4)
 $L'_{n,w} = 45$ dB
 zzgl. 3 dB für $u_{prog} = 48$ dB → Mindestschallschutz erreicht

Berechnung nach Methode 1 in [2].

Tabelle 3: Berechnung nach Methode 1 in [2] Übersicht der Rechendaten

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

Zzgl. 3 dB für u_{prog} ergibt sich $L'_{n,w} \approx 44$ 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 $L'_{n,w} = 37$ dB.

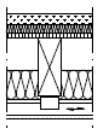
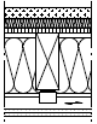
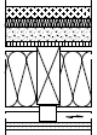

Wie am Beispiel unschwer zu erkennen ist, liegt das bisherige Normverfahren sehr stark auf der sicheren Seite und führt zu einer unwirtschaftlichen und stark überdimensionierten Bemessung.

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 4 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 4: Überblick über Prognose im Vergleich zu Baumessung gemäss [2]

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

Decke	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$) Labor ohne Flanken	$L'_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$) Baumessung	Flankenausbildung	$L'_{n,w}$ ($L'_{n,w} + U_{prog}$) Prognose nach [6] ³
ZE HBD GK	 46 dB (7) (Aufbau akustisch vergleichbar mit [1] Tab. 25 Zeile 9)	50 dB (4) (8 Messungen / $\sigma = 1,2$)	Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankung	50 dB (53 dB)
		47 dB (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)	47 dB (3) (3 Messungen / $\sigma = 1,2$)	Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankung	47 dB (50 dB)
		44 dB (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)	42 dB ⁴ (7) (2 Messungen / $\sigma = 1,4$)	Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankung	42 dB ⁵ (45 dB)
		39 dB ⁴ (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)	47 dB (3) (2 Messungen / $\sigma = 2,8$)	Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankung	44 dB (47 dB)
		45 dB (4) (5 Messungen / $\sigma = 0,9$)	Flanke durch Elastomer oder Vorsatzschale verbessert	

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

³ Gerechnet mit K_1 für Holztafelbauwand mit Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankungen Zeile 1 Tabelle 3

⁴ Am Bau mit Mineralfaser-Trittschallplatte gemessen anstatt mit Holzfasert-Trittschalldämmplatte wie im Labor

⁵ Prognose mit Zementestrich auf Holzfasert-Trittschalldämmplatte statt Mineralfaser

σ = 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 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Vergleich der Normtrittschallpegel inkl. $C_{I,50-2500}$ zwischen Labor und Bau gemäss Tabelle 4

Position in Tabelle 4	$L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ (Labor)	$L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ (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 5 ist sehr deutlich zu erkennen, dass unabhängig von Vorsatzschale oder Massnahmen an flankierenden Bauteilen die Werte inkl. des Spektrumanpassungswertes $C_{I,50-2500}$ 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.

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, was den Schallschutz betrifft, den anderen Bauweisen in nichts nachstehen und diese zum Teil sogar übertreffen.

5. Danksagung

Grosser Dank gilt den Organisationen Holzbau Deutschland Institut, Deutscher Holzfertig-Verband DHV und Bundesverband deutscher Fertighausbauer 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.

6. 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 Fertigbauer 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.

Städtisch, Ökologisch und Ökonomisch – der moderne Büro- und Wohnbau

Planen und Bauen mit Holzraummodulen

Jürgen Bartenschlag
Sauerbruch Hutton Architekten
Berlin, Deutschland



Planen und Bauen mit Holzraummodulen

1. UDQ - Universal Design Quartier, Hamburg

Die Apartments dieses Studentenwohnheims in Hamburg bestehen aus vorgefertigten Brettsperrholz-Modulen, die in intensiver Zusammenarbeit zwischen den Architekten von Sauerbruch Hutton, dem Bauherrn und dem Modul-Hersteller entwickelt worden sind. Eine überschaubare Zahl an konstruktiven Details und die Beschränkung auf zwei Modultypen haben hier ein ebenso effizientes wie kostengünstiges Bauwerk ermöglicht.

Das Studentenwohnheim «Woodie» liegt im Stadtteil Wilhelmsburg direkt am Gelände der Internationalen Bauausstellung (IBA) 2013 und bildet mit seiner kammartigen Struktur städtebaulich die Verlängerung des Gebäudes der Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen. Sauerbruch Hutton waren mit diesem Projekt 2014 siegreich aus einem geladenen Architektenwettbewerb hervorgegangen. Ihr Entwurf sah ein klar gegliedertes Gebäude vor: Im Erdgeschoss der drei Finger befinden sich der Haupteingang sowie Räume für Gemeinschaft und Gastronomie, während der aufgeständerte Bereich zwischen den Erschließungskernen Platz für insgesamt 400 Fahrräder bietet. Den Übergang zum Obergeschoss mit den insgesamt 371 Studenten-Apartments bildet eine Art Betontisch, auf dem sich zwischen aussteifenden Betonkernen die vorgefertigten Holz-Module stapeln.

Dass sich die Architekten für den Baustoff Holz und die Modulbauweise entschieden, liegt auf der Hand, ging es im Umfeld der experimentellen IBA-Holzbauten doch im Wesentlichen darum, sich vielfach wiederholende Wohneinheiten zu schaffen, die sich in idealer Weise zur Vorfertigung eignen. Als nachwachsender und CO₂-speichernder Rohstoff ist Holz umweltfreundlich, er lässt sich leicht verarbeiten, demontieren und wiederverwerten, und verfügt außerdem über baubiologische Eigenschaften, die sich in den rund 20 m² großen Apartments positiv auf das Wohlbefinden und die Gesundheit der Menschen auswirken.

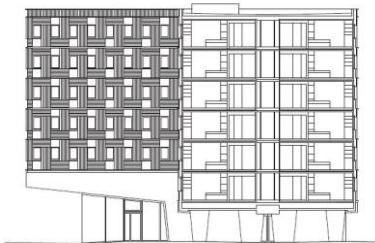


Abbildung 1: Schnitt bb

Abbildung 2: Grundriss Regelgeschoss

1.1. Einfaches und zugleich komplexes Tragwerk

Entscheidend für die Ingenieure von Merz Kley war in diesem Zusammenhang die Frage nach der Wandstärke der Modul-Seitenwände, die ebenso wie alle anderen Wände und Decken in Brettsperrholz (BSP) ausgeführt wurden. Diese Bauweise erlaubt im Vergleich zur Ständerbauweise wesentlich einfachere und schnellere Arbeitsprozesse. Letztlich entschieden sie sich zugunsten gleichbleibender Wandstärken und gegen Wände, die angesichts der von unten nach oben abnehmenden Gesamtlasten entsprechend dünner werden. Dies erhöhte zwar den Holzverbrauch, bot zugleich aber logistische Vorteile und erlaubte den Einsatz immergleicher Bauteile und Anschlüsse.

Wegen der hohen Stückzahlen konnten die Modul-Längswände in allen Geschossen in der rechnerisch notwendigen Stärke von 125 mm gefertigt werden ein Maß, das bei den BSP-Plattenherstellern, die üblicherweise in 20-mm-Schritten fertigen - standardmäßig nicht vorgesehen ist. 140 mm starke Platten hätten einen enormen Holz-Mehrverbrauch bedeutet. Für die vertikale Lastabtragung relevant sind nur diese Längswände - die Seitenwände zu Flur und Fassade flossen nicht zuletzt wegen der großen Öffnungen für Türen und Fenster nicht in die Berechnungen der vertikalen Lastabtragung ein und konnten daher frei gestaltet werden.

Horizontal in Flur-Längsrichtung auftretende Lasten gelangen in die Betonkerne. Horizontale Lasten in Modul-Längsrichtung, z.B. Windkräfte, werden von den Elastomer-Auflagern der BSP-Wände aufgenommen und über die darunter liegenden Module abgeleitet. Mechanische Verbindungen zwischen den Modulen gibt es nicht. Einzige Ausnahme bilden die Module über den auskragenden Betontischen. Hier hätte es nach Angaben der Tragwerksplaner des Betonsockels, Wetzels & von Seht, unter der Last der Module theoretisch zu einer Verformung des Kragarms kommen können, sodass sich der «Modulstapel» am äußersten Rand als Ganzes nach außen neigt. Um ein solches «Aufreißen» zu vermeiden, wurde dieser äußere Modulstapel mit dem benachbarten Stapel mechanisch verbunden. Mithilfe in den Fußpunkt der Außenwände des untersten Moduls eingelassener Stellschrauben wäre während der Bauzeit zudem ein Nachjustieren möglich gewesen. Dank vernachlässigbarer tatsächlicher Verformungen wurde diese Vorrichtung am Ende jedoch nicht gebraucht.

In Bereichen mit Mittelflur lehnt die Beton-Flurkonstruktion zur Aussteifung gleichermaßen an den Betonkernen wie an den Modulstapeln, während die Beton-Deckenplatten im einhäufigen Bereich mittels Zugverbindern kraftschlüssig mit den Modulen verbunden sind. Dass die Deckenplatten dort auf der einen Seite auf einer Stahlbetonstütze und auf der anderen Seite auf einem tragenden BSP-Außenwandelement aufliegen, ist bauphysikalisch unproblematisch, weil innerhalb der Gebäudehülle kein unterschiedliches Quell- oder Schwindverhalten der Materialien zu erwarten ist. Thema waren hier vielmehr die unterschiedlichen zulässigen Maßtoleranzen von Holz und Beton, die durch eine bedarfsweise Unterfütterung der Holzelemente bzw. der Fertigteil-Betonstützen mit Vergussmörtel gelöst wurde.

1.2. Vorfertigung und Transport der einzelnen Module

Alle Module wurden komplett mit Inneneinrichtung, fertigen Bädern, Fenstern und Türen vorgefertigt, zwischengelagert, wasserdicht eingepackt, auf Lastwagen just in time nach Hamburg geliefert und dort mit einem Kran sofort an die richtige Position eingehoben. Eine Zwischenlagerung auf der Baustelle war nicht zuletzt aus Platzgründen nicht vorgesehen. Pro Tag konnten maximal vier Module hergestellt werden.

Die serielle Herstellung der Module auf einer Art Fertigungsstraße brachte zahlreiche Vorteile in Bezug auf beschleunigte Montagezeiten und eine kurze Bauzeit. Hinzu kommt die Tatsache, dass Montageprozesse in Werkstattbedingungen im Warmen und am Boden grundsätzlich billiger und schneller machbar sind als vor Ort auf einer Baustelle. Noch wichtiger ist jedoch die dadurch erzielbare höhere Qualität und Präzision, ohne die ein Modulbau dieser Art nicht realisierbar gewesen wäre.

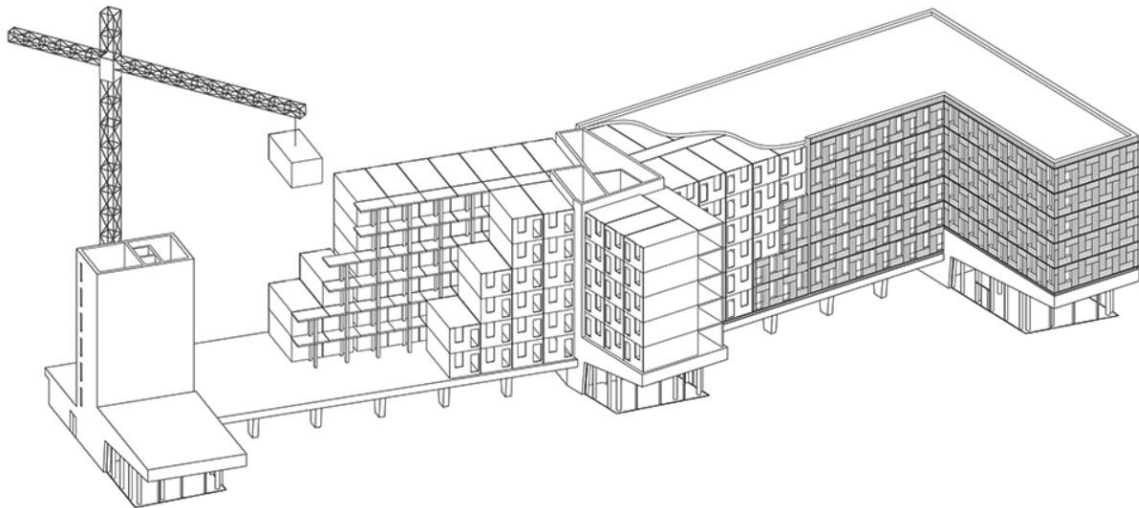
DETAIL 4.2018

Abbildung 3: Konzeptskizze der Montage auf der Baustelle



Abbildung 4: Vorgefertigte Holzmodule werden auf der Baustelle an die entsprechende Position eingehoben

Abbildung 5: Inneneinrichtung der Holzmodule

2. LUI - Luisenblock Deutscher Bundestag, Berlin

Sieben Vollgeschosse inklusive Erdgeschoss sowie einem kleineren Technikgeschoss als sogenanntem Staffelgeschoss soll das Gebäude fassen. Der H-förmige Grundriss orientiert sich an der Kammstruktur des benachbarten Marie-Elisabeth-Lüders-Hauses.

«Neben dem Nachhaltigkeitsaspekt und einer zeitsparenden Fertigung ist es uns trotz der bahnbrechenden Technik wichtig, das Gebäude in den Genius Loci zu integrieren. Der Bau nimmt die Höhe und Volumetrie des gegenüberliegenden Marie-Elisabeth-Lüders-Hauses auf und schließt zur Stadtbahn die Baukante mit einem gläsernen Volumen. Mit der zurückhaltenden silbernen Fassadenverkleidung wird dem Sichtbeton der benachbarten Abgeordneten Häuser entsprochen; einige farbige Glaspaneele in den Fenstern weisen diskret auf die Lebendigkeit und die Vielfalt hin, durch die sich die deutsche Volksvertretung auszeichnet», erläutert Architekt Matthias Sauerbruch das ästhetische Konzept des Bürogebäudes.

Die verwendeten Materialien – hauptsächlich Vollholz in den Bürobereichen sowie Stahlbeton im Erdgeschoss und Erschließungsbereich – sollen am fertigen Gebäude sichtbar bleiben. Der weitaus größte Teil der Fassaden wird von den Außenverkleidungen der Holzmodule geprägt.

Jedes der Module erhält bereits im Werk ein Fensterelement als Holz-Aluminiumkonstruktion, das aus einem festverglasten Bereich und einem Öffnungsflügel besteht. Metallverkleidungen sowie Fassadenelemente aus farbigem Glas werden nach Montage der Module in vorbereitete Halterungen eingehängt. Die Produktion der Holzmodule im Berliner Werk des österreichischen Generalübernehmers Kaufmann Bausysteme ist bereits gestartet. Parallel dazu läuft der Bau der aus Stahlbetonfertigteilen erstellten Bereiche des Erdgeschosses und des zentralen Atriums.

interior | fashion 03.03.2021

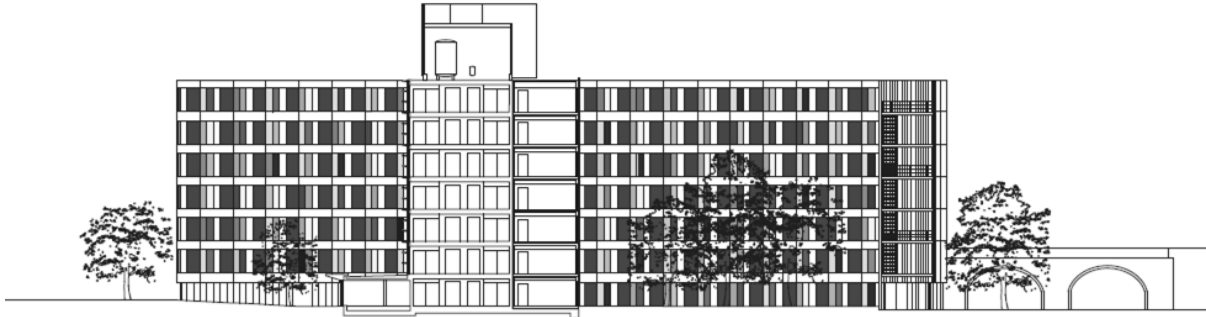


Abbildung 6: Schnitt aa

Abbildung 7: Grundriss Obergeschoss

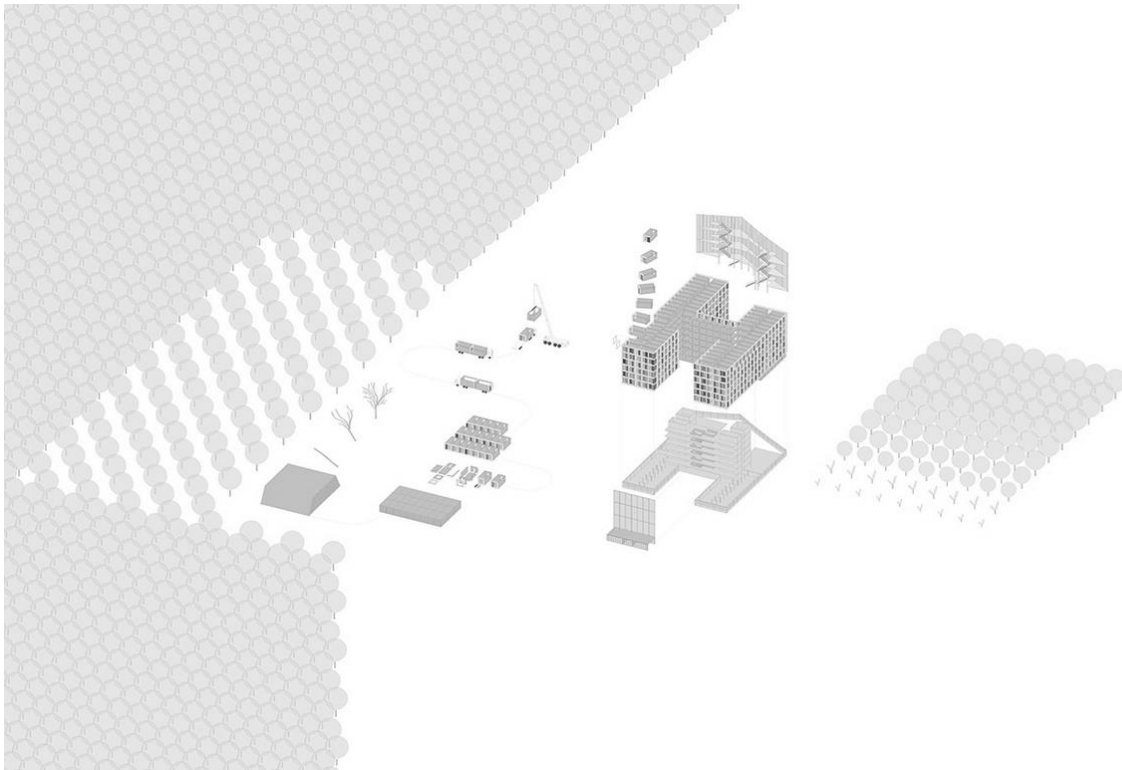
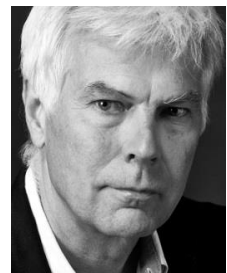


Abbildung 8: Schemata des «Wood Cycle»-Konzepts

ÜSTRA-Siedlung, Hannover Werkswohnungsbau in mehr geschossiger Holzmassivbauweise

Kay Marlow
MOSAIK architekten bda
Hannover, Deutschland



Ekkehard Vogt
MOSAIK architekten bda
Hannover, Deutschland



Die Fotos und Grafiken dieses Beitrages sind urheberrechtlich geschützt.
Fotos: Olaf Mahlstedt, Hannover
Eine Weitergabe und / oder Nutzung ist nur nach Rücksprache mit den Urhebern möglich.

ÜSTRA-Siedlung, Hannover

Werkswohnungsbau in mehrgeschossiger Massivholzbauweise

1. Städtebau

Auf dem innerstädtischen Gelände eines früheren Strassenbahndepots in Hannover-Vahrenwald entstand nach Beseitigung der Altlasten eine Siedlung für die Versorgungseinrichtung der ÜSTRA (öffentlicher Nahverkehr Hannover) mit einer Kindertagesstätte und 139 Mietwohnungen.

Der städtebauliche Entwurf ist nach Überarbeitung eines Konzeptes aus einer Mehrfachbeauftragung entstanden, die 2008 MOSAIK architekten bda in Kooperation mit dem Landschaftsarchitekturbüro «GrünPlan» (Hannover) für sich entscheiden konnten.



Abbildung 1: Schwarzplan

Vorrangig für den Bedarf Betriebsangehöriger geplant, stehen diese aber auch anderen Interessent*innen offen.

20% der Wohnungen sind öffentlich gefördert.

Der Siedlungscharakter wird durch einen inneren Grünzug und ein einheitliches Fassadenbild mit vorvergrauter horizontaler Holzschalung und weissen Fenstern geprägt.

Bis auf Keller und Treppenhäuser wurden alle Häuser aus vorgefertigten Brettsperrholzelementen errichtet. In jeder Wohnung ist das Holz an Aussenwänden und Decken im Innenraum erlebbar und wirkt sich wohnpsychologisch positiv aus.

Über den Grünzug verbindet sich die Siedlung nach Norden und Süden fussläufig mit dem Stadtteil. Nach Osten ist die Siedlung in das vorhandene Strassennetz eingebunden.

Fünfgeschossige Türme begleiten den Grünzug. Viergeschossige Zeilen bilden den Übergang zum angrenzenden Wohnquartier.

Die Freiraumqualität entsteht durch ein polygonales Wegenetz mit lockeren parkartigen Gehölzstrukturen und Aufenthaltsmöglichkeiten. Alle Autostellplätze liegen ebenerdig am Rande. Unterflurmüllstationen sind integriert.

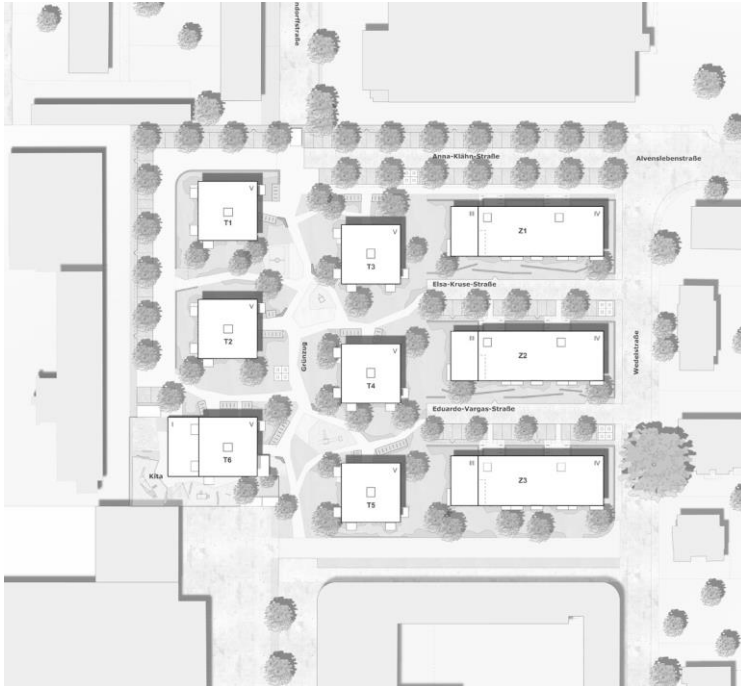


Abbildung 2: Lageplan (Freiraum: GrünPlan, Hannover)



Abbildung 3: Zentrale Grünachse (Nord-Süd-Verbindung in die angrenzenden Wohnquartiere)

2. Wohnungen

Die Mietwohnungen werden als 1-4 Zimmer Wohnungen gebaut, die sich auf sechs 5-geschossige turmartige Gebäude (T1-6) und drei 4-geschossige Zeilen (Z1-3) verteilen. 20% der Wohnungen sind sozial gefördert. Alle Wohnungen sind barrierefrei über einen Aufzug erschlossen. Einige der Wohnungen sind speziell für Rollstuhlfahrer geeignet.

Die Wohnungen sind hochwärmegedämmt (KfW-Standard 55) und verfügen über eine kontrollierte Wohnungslüftung.



Abbildung 4: Grundriss Turm (1.OG)



Abbildung 5: Grundriss Zeile (1.OG)

Sämtliche Wohnungen haben eine teilüberdachte Loggia bzw. einen Balkon. Bei allen Aussenwänden und Decken bleibt das Brettsperrholz (Industriesicht) innen als sicht- und erlebbare Oberfläche erhalten. Tragende Innenwände aus Brettsperrholz sind mit Gipsfaserplatten bekleidet.

Besonderes Augenmerk wird daraufgelegt, dass nur gesunde Baumaterialien verbaut werden (DGNB-System (ENV 1) Qualitätsstufe 4).



Abbildung 6: Eduardo-Vargas-Strasse

3. Holzbau



Abbildung 7: Montage Brettsper Holz

Von aussen werden die Gebäude in den Obergeschossen mit einer Verschalung aus horizontalen vorvergrauten Douglasie-Brettern bekleidet, im EG mit Faserzementplatten.

Die Keller und Treppenhaukerne sind in Stahlbeton errichtet, die tragenden Aussen-, Innenwände und Decken werden in Brettsper Holzelementen ($d=18-22\text{cm}$) ausgeführt. Die Gebäude werden der Gebäudeklasse 4 (NBauO) zugeordnet, somit Bauteile in F60 ausgeführt.

Der Schallschutz wird nach den Anforderungen der VDI 4100, Schallschutzstufe II geplant. Die Hauptproblematik liegt bei der massiven Holzbauweise bekanntermassen nicht bei den Bauteilen selber, sondern in der Schallübertragung über flankierende Bauteile. Es werden deshalb alle Bauteile mit Sylodynlagern zur Entkopplung versehen.

Eine Ökobilanz nach DIN EN 15978 wurde erstellt. Die Gebäude binden ca. 3.575 t CO₂ durch den im Holz gespeicherten Kohlenstoff über ihre Lebensdauer. Darüber hinaus werden ca. 2.150 t CO₂ äq Treibhausgase gegenüber einer konventionellen Bauweise eingespart.

Die gesamte BGF (oberirdisch) beträgt rd. 15.000 m², die Wohnfläche 10.800 m². Die Bauwerkskosten (KG 300 + 400) liegen bei 2.490 €/m² Wohnfläche.

4. Projektbeteiligte

Bauherr:	Versorgungseinrichtung der ÜSTRA e.V, Hannover
Projektmanagement:	meravis Bauträger GmbH, Hannover
Architektur:	MOSAIK architekten bda, Hannover
Tragwerksplanung:	shl ingenieure GmbH, Hannover
Prüfstatik:	hsw-ingenieure, Bad Oeynhausen
Landschaftsarchitektur:	Grün plan bdla, Hannover
Haustechnik:	SPP-Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover
Brandschutz:	3B-Bauconsult GmbH&Co.KG, Hannover
Schallschutz:	AMT Ingenieurgesellschaft mbH, Isernhagen
Wärmeschutz:	Büro für Bauphysik, Hannover
Baubiologie:	Wessling GmbH, Hannover
Rohbau:	Projektbau Depenbrock GmbH & Co. KG, Hamburg
Holzbau:	Brüggemann Holzbau GmbH & Co. KG, Neuenkirchen

Green Office® Enjoy | Paris

Prof. Gerd Jäger
Baumschlager Eberle Architekten
Berlin, Deutschland



Green Office® Enjoy | Paris

Unter hybriden Konstruktionen verstehen wir die Fügung unterschiedlicher Baustoffe mit dem Ziel der Optimierung ihrer jeweiligen Eigenschaften einerseits und ihrer Verbundwirkung auf der anderen Seite. Ziel ist die Leistungsstärkung der Konstruktion insgesamt durch die Kombination verschiedener Baustoffe.

Dies jedoch ist nicht neu. Bereits vor mehr als 2.000 Jahren errichteten die Römer Bauwerke in Holz und Stein. Die tragende Konstruktion der Fachwerkhäuser, nicht weniger alt, besteht i. d. R. aus Holz, die Ausfachung aus Mauerwerk oder einem Geflecht, teils aus ungebranntem Ziegel, Stroh als Trägermaterial und einem Putz als Schutzschicht. Oder betrachten wir die Gebäude der Gründerzeit, deren Deckenkonstruktionen grösstenteils aus Holzbalken und -dielen in Verbindung mit Schlacke gefertigt sind und deren Aussenwand aus einer Kombination von Holzständerwerk und Mauerwerk besteht. Und bei den traditionellen Häusern in der Alpenregion sind die Sockel meist in Stein und die Obergeschosse komplett in Holz errichtet.

Sie stellen Hybridkonstruktionen dar, auch wenn sie bisher nicht als solche bezeichnet wurden.

Ergänzen möchte ich, dass die Bezeichnung «Hybridkonstruktion» oder noch mehr «Holzkonstruktion» gegenwärtig gerne synonym verwendet wird mit dem Begriff der «Nachhaltigkeit». Dies ist jedoch nicht zwangsläufig der Fall. Gerade in jüngster Zeit entstehen unterschiedliche Gebäude mit monolithischem Aussenwandaufbau ohne dass diese dadurch weniger nachhaltig sind als die vorgestellte Hybridkonstruktion unseres Bürogebäudes «Green Office ENJOY» in Paris.

Im Falle des Bürohauses in Paris, das vor ca. drei Jahren fertiggestellt werden konnte, handelt es sich um ein Bauwerk, für dessen Tragkonstruktion vorwiegend Holz und Stahlbeton zum Einsatz gekommen sind. Während das Erdgeschoss und alle Kerne in Stahlbetonkonstruktion errichtet wurden, bestehen die sechs bis acht Obergeschosse aus einer Holzkonstruktion. Typologisch kommt es damit dem Alpenhaus nahe.

Entscheidend für die Wahl der beiden Baustoffe war ein städtebaulicher Aspekt. Das gesamte neu zu beplanende Areal galt zuvor als Brache der Bahn, und insbesondere das uns zugewiesene Grundstück galt als schwer bebaubar. Da sich die mögliche zu bebauende Fläche zu 85 % auf einer Brückenkonstruktion über der Pariser Eisenbahntrasse befindet und nur zu 15 % direkt mit öffentlichem Grund in Berührung kommt, war die Gesamtlastaufnahme des Brückenteils durch die Tragfähigkeit des Bestandsbaus limitiert.

Ursprünglich war auf diesem «Grundstück» demzufolge eine niedrige, d. h. vier- bis fünfgeschossige Bauweise vorgesehen. Aus unserer Sicht fehlte dadurch gerade im Eingangsbereich des neuen Stadtquartiers die städtebaulich notwendige Dominante. Wir konnten uns nicht vorstellen, an dieser Stelle das niedrigste Gebäude des neuen Quartiers zu errichten. Für uns stellte sich die Frage: Wie kann ich hoch und gleichzeitig leicht bauen? Die Minimierung der Konstruktionslasten war zunächst das ausschlaggebende Kriterium für die Wahl der Konstruktion.

Die gewählte Leichtbauweise in Stahlbeton und Holz ermöglichte eine Erhöhung des Gebäudes um zwei bis drei Geschosse. In seiner Nordspitze ist das Gebäude daher nunmehr sieben Geschosse hoch, und nach Süden wächst es um zwei weitere Geschosse. Der Übergang geschieht gleitend über eine schräge Dachlandschaft.

Während das Sockelgeschoss aus Gründen der Lastverteilung in Stahlbeton errichtet wurde, bestehen sämtliche Geschossdecken sowie die Innen- und Aussenstützen der darüberliegenden Geschosse aus Massivholz (Brettschichtholz). Die Trittschallfunktion der Decken übernimmt eine Fermacell-Platte. Zwischen den Unterzügen aus Holz sind Kühldecken montiert. Die Holzstützen und -träger sind im Innenraum sichtbar gelassen. Die Stützen der Fassade wurden aussenseitig mit cappuccinofarbenen changierenden Aluminiumtafeln ummantelt. Sie spielen mit der Farbigkeit der für Paris typischen Haussmann-Häuser.

Während der Bauherr bei diesem Bauwerk noch von der Sorge getragen wurde, zu viel «Holz-Zeigen» könnte sich nachteilig auf die Vermarktung auswirken, hat in der Zwischenzeit eine Umkehrung im Denken und in der Wahrnehmung dieses Baustoffes stattgefunden.

Unterstützend für die Auswahl der Baustoffe kam hinzu, dass Paris im Laufe der Projektentwicklung, d. h. bereits im Jahre 2014, das Thema «Nachhaltige Stadtentwicklung» für sich entdeckt hatte.

Das relativ kleine Projekt mit einer Nutzfläche von ca. 18.300 qm auf einer Grundstücksfläche von nur 3.450 qm erhielt später insbesondere durch die Wahl der Konstruktion und der Baustoffe sowie durch die zahlreichen Zertifizierungen und Auszeichnungen grosse öffentliche Aufmerksamkeit. 2016 erhielt der Bau als erstes Bürogebäude Frankreichs das BBCA-Low-Carbon-Footprint-Label, die eingebauten 2.800 cbm Holz speichern 520 Tonnen CO₂. Wäre das Bauwerk herkömmlich in Stahlbeton errichtet worden, würde die Gesamt-CO₂-Belastung 2.380 Tonnen höher ausfallen.



Abbildung 1: Green Office® Enjoy |Paris© Luc Boegly



Abbildung 2: Green Office® Enjoy |Paris© Luc Boegly



Abbildung 3: Green Office® Enjoy |Paris© Luc Boegly



Abbildung 4: Green Office® Enjoy |Paris© Luc Boegly



Abbildung 5: Green Office® Enjoy |Paris© Luc Boegly

Aktuelles aus Berlin

Das Fliegende Klassenzimmer – DFK **vom Modulbau zum typisierten und seriellen** **Baukasten für temporäre Schulbauten**

Dipl. -Ing. Architekt Andreas Spiess
Dipl. -Ing. Architekt Thomas Fundel
Bezirksamt Tempelhof-Schöneberg
Berlin, Deutschland



Das Fliegende Klassenzimmer – DFK

Vom Modulbau zum typisierten und seriellen Baukasten für temporäre Schulbauten

1. Einleitung

Das Baumanagement des Berliner Bezirks Tempelhof-Schöneberg beschäftigt sich seit nunmehr 5 Jahren mit temporären Schulbauten in Holzbauweise, die ursprünglich als temporäre Ausweichstandorte bei Grundsanierungen von Schulbauten innerhalb der Berliner Schulbauoffensive gedacht waren.

Im Zeitraum von nicht einmal zehn Jahren sollen in Berlin insgesamt 5,5 Milliarden Euro in 60 neue Schulen und den Abbau des Sanierungsstaus bei Bestandsgebäuden in Höhe von 2,8 Milliarden Euro investiert werden. Es ist aber abzusehen, dass sowohl das Zeitfenster als auch der finanzielle Rahmen zur Lösung der Aufgaben erweitert werden müssen. Tempelhof-Schöneberg ist eine Kommune mit rund 350.000 Einwohnern und insgesamt 56 Schulstandorten. Der Sanierungsstau im Bezirk beläuft sich zurzeit auf ca. 450 Millionen Euro, zeitgleich ist ein Schülerzuwachs von rund 13 Prozent bis zum Jahr 2026 zu erwarten. Die temporären Gebäude müssen also auch den weiterhin kontinuierlichen Zuwachs an neuen Schülern im Bezirk auffangen. Dabei sind diese Projekte durch einen enormen Zeitdruck gekennzeichnet.

Diese Rahmenbedingungen bedingen eine industrielle, möglichst serielle Bauweise, die durch einen hohen Vorfertigungsgrad und grosse Zeitersparnisse im Bauablauf gekennzeichnet ist. Der Klimawandel mit dem Zwang zur CO₂-Einsparung, verbunden mit dem Nachhaltigkeitsgedanken führten in Tempelhof-Schöneberg konsequent und unabhängig von politischen Vorgaben, zur modularen Holzbauweise.

Die Grundstücksnot im Bezirk und sehr beengte Platzverhältnisse an den vorhandenen Schulstandorten erfordern Gebäude die sich an verschiedenste nutzerspezifische wie architektonischer Situationen anpassen können. Immer bestand der Anspruch unterschiedlichen pädagogischen Konzepten Raum zu bieten, also innerhalb einer ansprechenden aber funktional seriellen Architektur flexiblere Grundrisse für Schulen zu generieren.

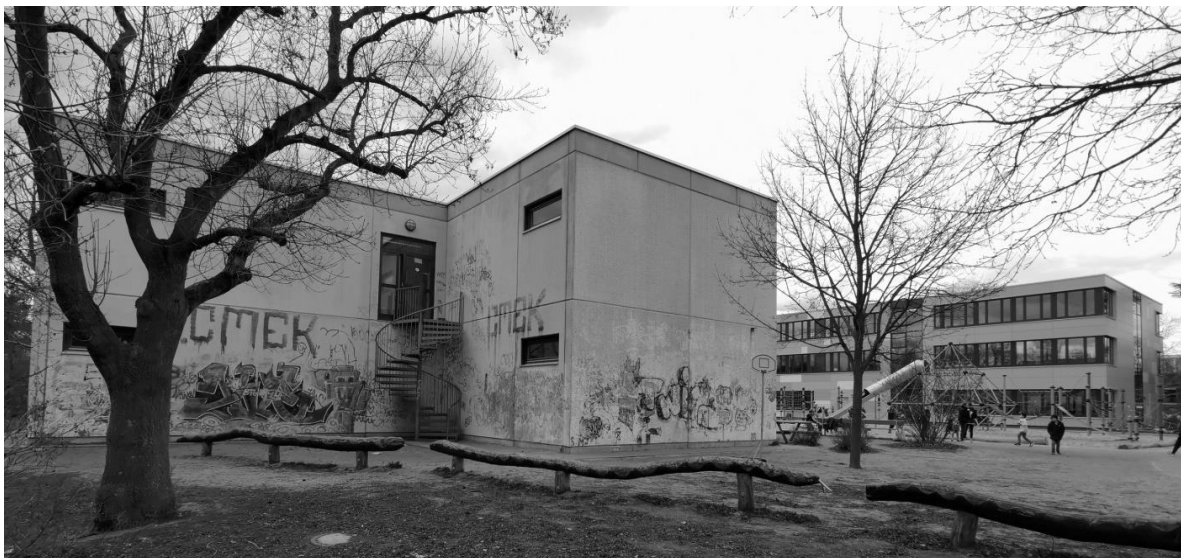


Abbildung 1: Temporäre Schulersatzgebäude der letzten 40 Jahren (vlnr MUR ca. 1980, MEB ca. 2010)

Temporäre Schulgebäude haben in Berlin keine positive Geschichte und sind von einer durchweg negativen Konnotation belegt. Provisorien wurden immer wieder zu Dauereinrichtungen, Standzeiten verlängern sich weit über die Restnutzungsdauer, hohe Instandhaltungskosten und teure Sanierungen kennzeichnen diese Dauerprovisorien. Zudem ist der Beitrag dieser durchweg pragmatischen Gebäude zur Baukultur äusserst gering (Abb. 1). Die Entwicklungsgeschichte der Fliegenden Klassenzimmer spiegelt ein Herantasten

an die Thematik temporärer Schulbauten in industriell gefertigter Holzbauweise dar und führte im Entwicklungsprozess vom Holzmodulbau aus vorgefertigten Raumzellen, hin zur elementierten Plattenbauweise, hybrider Konstruktionen mit angestrebter anspruchsvoller Architektur.

2. Die Fliegenden Klassenzimmer

2.1. Typ DFK 1.0

Zwei Schulergänzungsgebäude in Holzmodulbauweise

Dass vor einigen Jahren scheinbar nicht absehbare Dilemma der Gleichzeitigkeit der Problemfelder durch massives anwachsen an Schülerzahlen, dem Mangel an pädagogischer Flächen, einem umfänglichen Sanierungsstau sowie die Schliessung von Schulstandorten führt zu grossen Herausforderungen und einem permanenten Zeitmangel durch die Dringlichkeit der Probleme bei der Entwicklung und Umsetzung von innovativen Lösungsansätzen. Entscheidend für die Grundsanierungen im Altbestand ist die Vorhaltung von Ausweichflächen, damit nicht bei laufendem Betrieb saniert werden muss, was für alle Beteiligten unzumutbar ist und ausserdem keine wirtschaftliche und vor allem schnelle Sanierung ermöglicht.

Ende 2017 zeichnete sich für das Baumanagement genau diese Problemlage an zwei Schulen ab. An zwei Standorten sollten temporär zusätzliche Schüler bis zur Erweiterung ihres Schulstandortes sowie Schüler aus Bauabschnitten einer Gebäudesanierung in Gebäuden mit je zweimal acht Klassenzimmer, zwei Lehrerräume eine Teeküche sowie ein Sanitäräume untergebracht werden. Als Projektlaufdauer wurden durch das Schulamt ein Zeitraum von 6 Monate benannt. Üblicherweise werden solche Projektprobleme durch die kurzfristige Anmietung von Stahlcontainermodulen gelöst, hiermit wollten sich die Architekten des Baumanagements jedoch nicht zufriedengeben.



Abbildung 2: Entwurfsdarstellung – das fliegende Klassenzimmer (©MK Design Visualisierung)

So entstand das Projekt «Das Fliegenden Klassenzimmer». Ausgehend von ähnlichen Projekten in anderen Städten, wie z.B. Frankfurt am Main oder Zürich sollten zwei temporäre Holzmodulgebäude gebaut und deren Wirtschaftlichkeit gegenüber Stahlcontainern mit einer durchschnittlichen Mietzeit von 8 Jahren nachgewiesen werden.

Als eine der wenigen Kommunen deutschlandweit besitzt das Baumanagement noch eine eigene Entwurfs- und Planungsgruppe mit 14 Mitarbeitern, davon 6 Projektarchitekten, die Projektentwicklung betreibt, aber auch konkrete Architektenleistungen gemäss HOAI erbringt.

Wir sind der Ansicht, dass wir als fachkundiger Bauherr auch das Know-how der anstehenden Aufgaben vorhalten müssen, die Freude am Architektenberuf fördern und Hüter einer öffentlichen Baukultur sind. Dieses Architekturbüro der öffentlichen Hand rechnet

sich wirtschaftlich schon alleine durch die Einsparungen bei den Honoraren der Objektplaner und den einhergehenden, verkürzten Abstimmungsprozessen aller am Planungsprozess beteiligten, vor allem jedoch in der baulichen Unterhaltung durch das eigene Wissen um das Projekt. Nichtsdestoweniger werden auch weiterhin bis zu 90 Prozent der Projektaufträge an freischaffende Kollegen vergeben, die sich über eine fachkundige Projektsteuerung freuen.

Zielsetzung und Realisierung

Aufgrund der engen Zeitvorgaben wurde «das fliegende Klassenzimmer» von einem unserer Projektarchitekten nicht nur entworfen, sondern auch durch eine funktionale Leistungsbeschreibung als Grundlage der GU-Vergabe erarbeitet. Die beiden Bauten sollten einen Pilotcharakter für die kommenden Aufgaben des Bezirkes haben. Bewusst wurde ein einfacher, linearer und eingeschossiger Baukörper gewählt.

Das Werk sollte folgende Parameter aufweisen: temporäre Holzmodulbauweise aus Raumzellen, eine kurze Aufstell- und Bauzeit sowie eine lichte Raumhöhe 3,0 m. Ein belüftetes Kaldach und ein grosser Dachüberstand als passiver Sonnenschutz. Ökologische Baustoffe, eine gute Nachhaltigkeitsbilanz und ein hoher Wiederverwendungsgrad von über 90 Prozent kennzeichnen die Rahmenbedingungen. Hohe Raumluftqualität erreichbar durch minimale mechanische Lüftung und einbruchgeschützte, mechanische Fensterlüftung zur Nachtauskühlung. Eine Energieversorgung über separates Energiemodul mit Luftwärmepumpe und nicht zuletzt eine ansprechende Architekturqualität runden das Projekt ab.

Der Gebäudeentwurf und die funktionale Ausschreibung konnten nach vier Monaten veröffentlicht und vergeben werden. Die Schweizer Firma Blumer-Lehmann, die als Generalunternehmer auch mit deutschen Subunternehmern vor Ort zusammenarbeitet, erhielt den Zuschlag nach öffentlicher Ausschreibung.

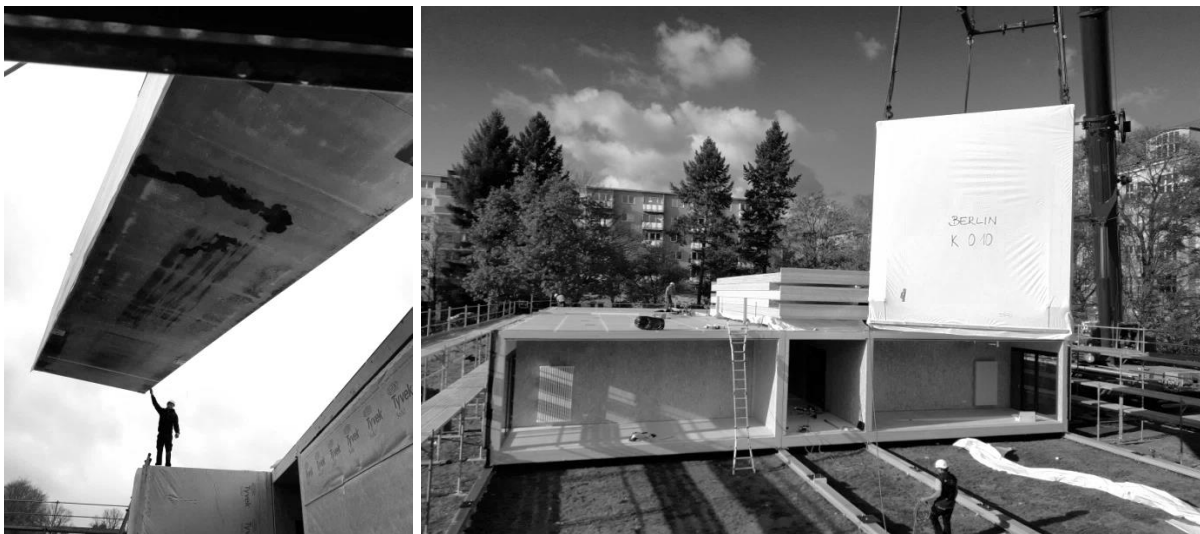


Abbildung 3 und 4: Montage der Raumzellen

Die funktionale Leistungsbeschreibung für solch ein Projekt sollte jedoch klug überlegt werden. Zu viele Festlegungen schränken das Einbringen des Fachwissens des GU Modulbauers ein und wirken sich negativ auf die Kosten aus. Andererseits müssen die Qualitätsvorstellungen des Auftraggebers deutlich zum Ausdruck gebracht und Gegenstand der Ausschreibung werden. In jedem Fall ist eine enge Abstimmung mit dem Auftragnehmer während der gesamten Werk- und Montageplanung notwendig. Entscheidungsfreudigkeit auf Seiten des Auftraggebers ist bei den enorm kurzen Produktionszeiten ein Muss.

Die Produktionsphase der Holzmodule ist äusserst beeindruckend. Hier werden alle Vorteile einer industriellen Bauproduktion sichtbar, wie wetterunabhängiges Bauen, wohlgeordnet auf einer Baustrasse in einer Halle und mit zufriedenen Handwerkern. Drei bis vier Monate später konnten die Module mit Sattelschleppern zum Grundstück nach Berlin transportiert werden. Innerhalb von vier Tagen war das Gebäude zusammengefügt und der Innenausbau konnte beginnen.



Abbildung 5: DFK1.0 – Nach Fertigstellung (© Lehmann Gruppe)

Erkenntnisse aus dem Projekt

Das Pilotprojekt hat zu wichtigen Lerneffekten bei allen Beteiligten geführt. Der Auftraggeber, vor allem die öffentliche Bauverwaltung, muss sach- und fachlich gut aufgestellt sein, schnell Entscheidungen treffen und ihren nativen Leistungsteil, wie die Baugenehmigung, die technische Anbindung und den Anschluss ans öffentliche Netz, perfekt koordinieren und termingerecht abwickeln. Die Architektur bestimmenden Bauteile müssen über Leitdetails vom Bauherrn in der Ausschreibung vorgegeben werden. Ausländische Auftragnehmer müssen sich zudem mit dem deutschen Baurecht, umfangreichen Normenvorgaben und den anerkannten Regeln der Technik in Deutschland anfreunden.

Das Umsetzen der Gebäude, in diesem Fall nach etwa fünf Jahren, muss integraler Bestandteil der Leistungsbeschreibung und des Vertrages sein. Die Beauftragung mehrerer Gebäude könnte in Folge über bezirkliche oder landesweite Rahmenverträge geregelt werden und somit zu Preisvorteilen auf Seiten der öffentlichen Hand führen. Die zwei Schulgebäude konnten mit insgesamt 4,4 Millionen Euro brutto Gesamtbaukosten abgerechnet werden.

Die beiden DFK1.0 Pilotbauten sind insgesamt nach knapp über einem Jahr Projektlaufzeit ein voller Erfolg. Alle avisierten Ziele des Pilotvorhabens wurden erreicht, zudem konnte durch technisches Monitoring nachgewiesen werden, dass sich die Gebäude insbesondere in der kritischen Sommerphase, vollumfänglich hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes bewährt haben.

2.2. DFK 2.0

Die Weiterentwicklung: Das fliegende Klassenzimmer 2.0 – ein typisierter und seriellerer Baukasten für den Schulneubau

Ziele

In Folge der Revision der umgesetzten Prototypen DFK1.0 an zwei Standorten und des in Umsetzung befindlichen Probebaus DFK.75 mit 2 Klassenräumen manifestierten sich die zentralen Entwurfsziele, die für die Umsetzung des DFK2.0 von integraler Bedeutung sind und die Leistungsfähigkeit des neu entwickelten Bausystems vom Typ 2.0 widerspiegeln. Zentraler Aspekt ist eine überwiegend serielle Gross-Tafelbaukonstruktion, ergänzt durch sinnfällige modulare Bauteile und Konstruktionen mit hohem Vorfertigungsgrad zur Schaffung eines typisierten Schulbaus, der sich durch flexible Grundrisse auszeichnet, die ein modernes pädagogisches Konzept bedienen können, aber in seiner Gesamtheit auch immer auf komplexe städtebauliche Situationen vor Ort durch die Logik des Entwurfsbaukastens reagieren kann.

Seine Verwendung wird das DFK2.0 vor allem in der Ergänzung von temporären Schulplatzbedarfen an verschiedensten Schulstandorten finden, damit geht eine geforderte Mobilität und Variabilität der Konstruktion einher, ohne bestehende und geforderte Qualitäten dauerhafter Schulbauten zu vernachlässigen. Eine Umsetzung der Gebäude ist prinzipiell vorgesehen.

Grundsätzlich ist der Typ DFK2.0 behindertengerecht gemäss der Richtlinie «design for all» geplant und mehrgeschossig bis jedoch max. 3 Vollgeschosse inkl. Aufzug ausführbar. Die bewusste Entscheidung Holz als primärer Baustoff zu verwenden spiegelt den ökologischen und nachhaltigen Anspruch Tempelhof-Schönebergs wider.

Als Pilotprojekt wird an der Gemeinschaftsschule in Berlin-Friedenau ein dreigeschossiges Schulgebäude angepasst an die Pädagogik der Schule 2022/23 realisiert.

Baukasten

Die durch die Ziele definierten Randparameter finden in der Funktion, wie aber auch in der Konstruktion des Baukastens einen direkten Niederschlag. Primäre Anforderungen an diesen modularen Holzbaukasten sind demnach Flexibilität in äusserer Gestaltung und der inneren Organisation, Nachhaltigkeit der verwendeten Baustoffe sowie die Wiederverwertbarkeit der Elemente und des Gebäudes in Gänze oder Teilen über den gesamten Gebäudezyklus.

Eine sinnfällige Konstruktion, die ökonomische Aspekte der Bauwirtschaft, hier die Logik der Bauelemente und der Vorfertigung, berücksichtigt sowie ökologische Vorgaben der Energieeinsparverordnung bilden das Gerüst des Schulbaukastens, der noch durch regulatorische Anforderungen des Schall- und Brandschutzes ergänzt wird.

Ogleich der geplanten temporären Standzeiten und dem avisierten hohen Wiederverwendungsgrad berücksichtigt der Baukasten sowie die darin enthaltenden Bauprodukte alle technischen Baubestimmungen. Dies wird vor allem durch die konsequente Verwendung von bauphysikalisch und ökologisch geprüfter sowie zugelassenen Bauteile und Bauteilfügungen mit vorhandenen Verwendbarkeitsnachweisen erreicht. Durch die konsequente systematisierte Nutzung des Holztafelbaus können unterschiedlichste Gebäudekonfigurationen selbst bei schwierigsten Grundstücksflächen verwirklicht werden.

Funktional findet eine Typisierung der Funktionseinheiten in einzelne eigenständige Funktionszonen statt. Dies ermöglicht im System des Baukastens eine freie Addition der Funktionseinheiten, sowie Anordnung bei gleichzeitiger Flexibilität der Grundrisse (Abb. 6). Bautechnisch findet eine Reduktion auf nur wenige differenzierte, aber serielle Bauteile mit einem hohen Vorfertigungsgrad statt.

Funktionsbereiche

Die Gesamtheit der Funktionseinheit Schule wird im ersten Schritt auf 3 sich logisch abgegrenzte Funktionsbereiche reduziert. Jeder Funktionsbereich folgt einer sich eigen innenwohnenden logischen Konstruktion und damit auch einer einhergehenden äusseren Ausprägung.

Identifiziert wurden als Funktionsbereiche das Compartment (Allgemeiner Unterrichtsreich), ein Service- und Wirtschaftsbereich sowie ein Mehrzweckbereich (Teambereich Pädagogen und Verwaltungsbereich). Die letzteren Bereiche bilden eine zentralen Kern- und Serviceblock an den die Compartments in freier Addition anschliessen können (Abb. 7).

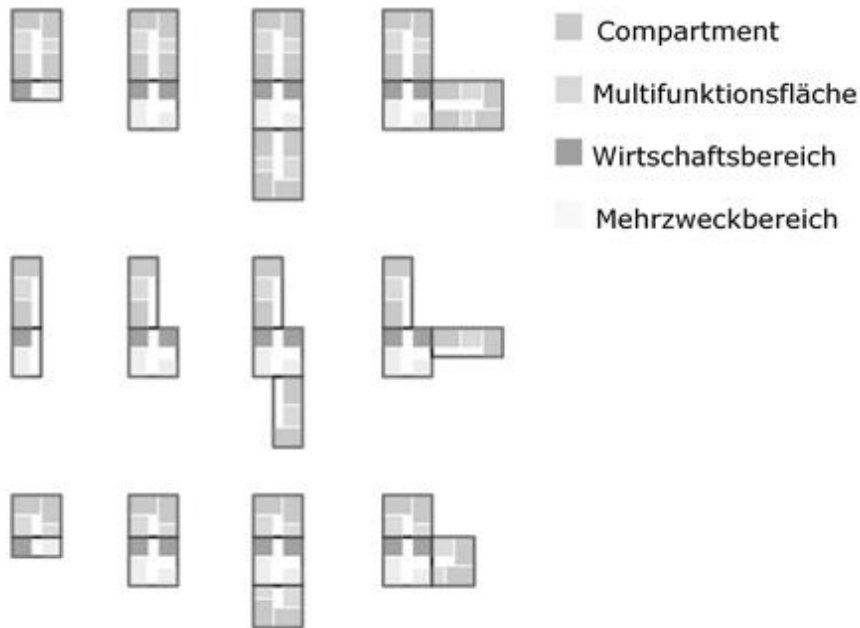


Abbildung 6: DFK1.0 – Freie Anordnung der Funktionsbereiche, Anmerkung zur Darstellung: Jedes Compartment ist dem besseren Verständnis geschuldet nochmal in Stammgruppen und Multifunktionsflächen unterteilt, dennoch bilden sie eine Funktionseinheit.

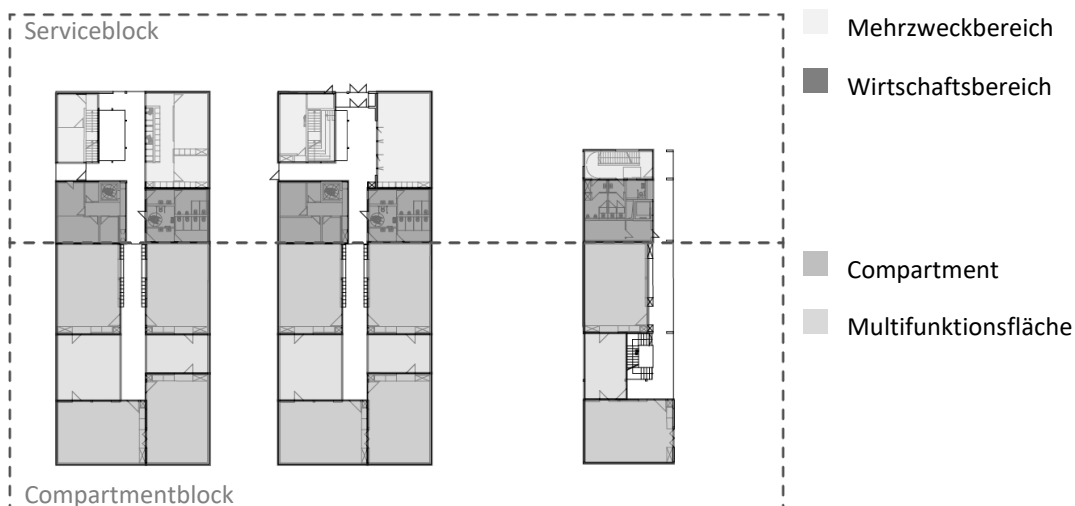


Abbildung 7: Systematik der Funktionsbereiche

Das Compartment

Kern des Baukastens bildet der Funktionsbereich Compartment, basierend auf eine Reihung klar definierter Grundmodule. Die Bezeichnung Modul ist hier rein funktional und nicht bautechnisch zu begreifen, da das Compartment in serieller Holztafelbauweise und nicht aus Raumzellen ausgeführt werden soll.

Das Grundmodul besteht aus je 2 Stammgruppenräumen mit rd. 64m² Nutzfläche einer direkt zugeordneten Multifunktions- oder Dispositionsflächen in unterschiedlicher Grösse und einer zugeordneten Erschliessungsfläche. Die Multifunktions- oder Dispositionsflächen werden je nach pädagogischen Konzepten gesondert ausgebaut und können bei Bedarf jederzeit entsprechend veränderter Nutzungsanforderungen während der Standzeit umgebaut und -genutzt werden.

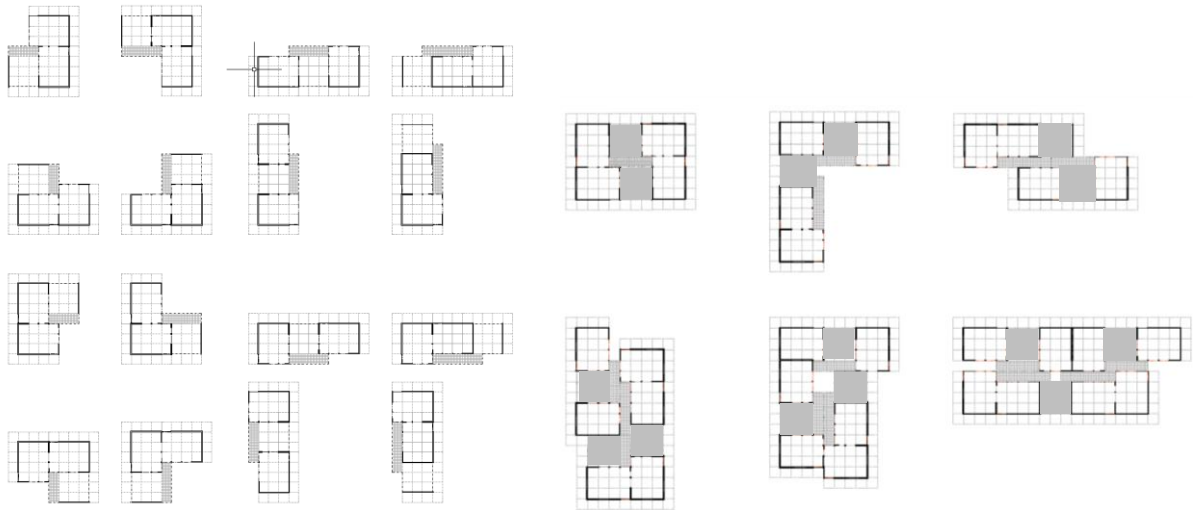


Abbildung 8 und 9: Variationen des Grundmoduls, Addition der Grundmodule zu Funktionseinheiten

Die verschiedenen Module wurden aus einem optimierten Compartmenttyp mit annähernd 400m², bestehend aus 2 Grundmodulen, also insgesamt 4 Klassenzimmer und 2 Multifunktions- oder Dispositionsflächen, sowie zentraler Erschließungsfläche die unter anderem als Forum oder pädagogische Gemeinschaftsfläche genutzt werden könnte, abgeleitet (Abb. 8).

Aus der freien Addition der wenigen aber klar definierten Grundmodule entsteht eine lebendige und variable Grundrisstypologie, die sich aus nur wenigen konstruktiven Einzelkomponenten herstellen lässt (Abb. 9).

Das Grundmodul ist so konzipiert, dass es aus lediglich zwei unterschiedlichen Innen- und drei unterschiedlichen Aussenwandtafeln herstellen lässt.

Die Variabilität der Addition ist nicht nur in Ebene, aber auch in der Stapelung denkbar. Die bezeichneten Multifunktions- oder Dispositionsflächen bedürfen einer genaueren Betrachtung, da sie das zentrale Merkmal des Baukastens darstellen.

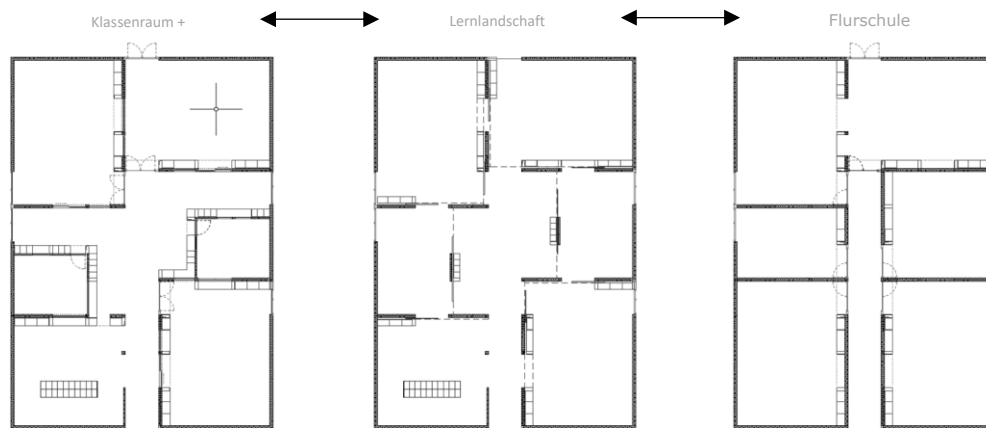


Abbildung 10: Ausbauvarianten des Compartements

Dieser zentralen Forderung folgt der Entwurf, indem er die 2 unterschiedlichen Innenwandtafeln mit vorgefertigten Wandöffnungen vorsieht und entsprechend dem jeweiligen pädagogischen Konzept der Schule einen Ausbau der zugeordneten Dispositionsflächen und Nutzung als Teilungs-/Kursräume, Differenzierungsfläche und/oder Besprechungsräume ermöglicht. Alle raumbildenden Ausbauten, die die Nutzung der Multifunktions- oder Dispositionsflächen definieren werden in Form eines temporären nicht statisch relevanten Leichtbaues z.B. in Form von Einbaumöbeln oder Holz-Glastrennwänden ausgeführt. Je nach Ausbau werden vorhandene Öffnungen in den Holztafeln als Durchgänge und -sichten ausgeführt. Nicht genutzte Öffnungen werden werkseitig mit temporären Einbauten verschlossen (Abb. 10).

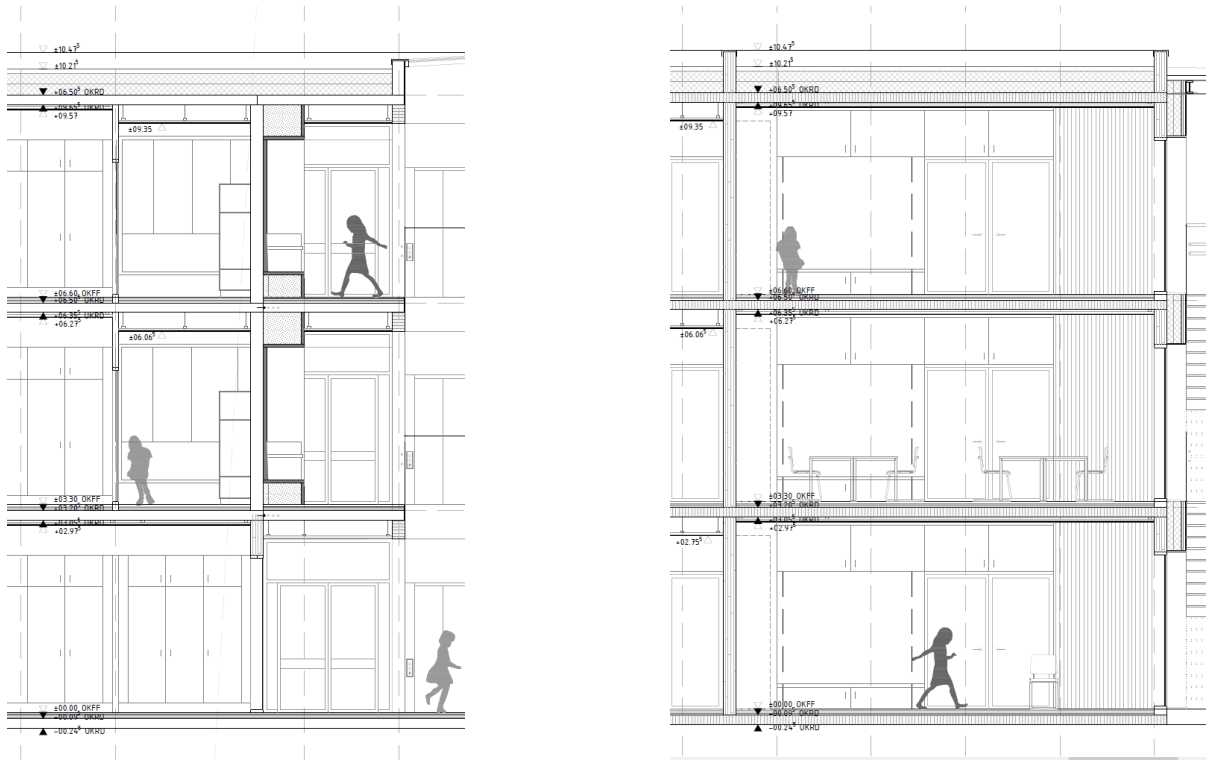


Abbildung 11 und 12: Systemschnitte Quer und Längs, DFK2.0 – Friedenauer GMS

Ausbauvarianten im Mehrzweckbereich

Der Logik der Multifunktions- oder Dispositionsflächen folgend befinden sich im Kern- und Serviceblock weitere Nutzflächen, die entsprechend der speziellen Anforderungen der jeweiligen Nutzer spezifisch genutzt und ausgebaut werden können, aber auch jederzeit nachträglich verändert werden können.

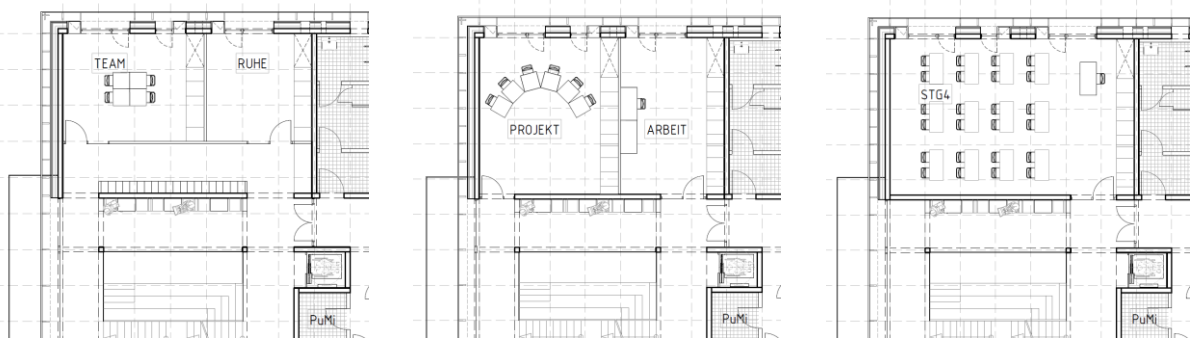


Abbildung 13: Ausbauvarianten des Mehrzweckbereiches

Auch diese Ausbauten werden in direkter Absprache mit dem Nutzer im Leichtbau ausgeführt, um ein Maximum an Flexibilität bei Nutzungsänderungen zu gewähren. In diesem Beispiel handelt es sich im ersten Fall um eine Kombination von Teamkommunikationsraum, Ruheraum und Schliessfächern. Der zweite Fall verzichtet auf den Flur zugunsten 2 grösserer Räume für z.B. Projektarbeiten und ein Büro und oder Arbeitsraum. Der dritte Fall reduziert die Fläche auf einen Stammgruppen oder Mehrzweckraum (Abb. 13). Die Ausbauten können von Etage zu Etage variieren.

Typisierung der Bauteile

Gemäss der Logik des Baukastens ergeben sich folgende Typisierungen der Baukonstruktion entsprechend der ermittelten Funktionsbereiche. Exemplarisch erfolgt dies an dem Entwurf für die Friedenauer GS. Das Regelgeschoss besteht aus 2 unabhängig Bauteilen, die zugleich die inneren Brand- und Rauchabschnitte ausbilden.

Einzig der Service- und Wirtschaftsbereich wird, auf Grund des hohen Vorfertigungsgrad und benötigten technischen Ausstattung, industriell als Raumzellenmodule vorgefertigt. Die vertikale Erschließung zwischen den Raumzellen wird über Fertigbauteile und einem räumlichen hölzernen Stabtragwerk ausgebildet. Das Compartment, auf Grund seiner benötigten Flexibilität im Grundriss, wird als Bauteil überwiegend aus Grossholztafeln konzipiert. Die Ausführung der elementierten Aussenwände erfolgt in einem festgelegten Bauraster, basierend auf dem gewählten Grundmass, orientiert sich an den maximalen Tafelabmessungen der Compartmentwände sie werden als präfabrizierte Rahmenbauelemente errichtet. Diese Wahl der Konstruktion ermöglicht ein möglichst freies Fassadenraster und äusseres Erscheinungsbild, sowie eine nahezu freie Wahl der Bekleidung der Fassade.



Abbildung 14 und 15: Perspektive DFK2.0 – Rubensstrasse

2.2. DFK 0.75

Der Prototyp für das DFK2.0

An dem bezirklichen Schulstandort Eckener-Gymnasium in Berlin-Mariendorf werden zurzeit 2 zusätzliche Klassenräume, die im Altbau zur vorgeschriebenen Essensversorgung (Mensa-Bauprogramm) umfunktioniert wurden, benötigt. Für den Zeitraum bis zur Sanierung des Schulstandortes in ca. 5 Jahren sollten Stahlcontainer als zweigeschossige Interimslösung zum Einsatz kommen. Das Baumanagement nutzte diesen Fehlbedarf aktuell, um ein eingeschossiges Probegebäude mit 2 Klassenräumen für das kommende DFK 2.0 zu errichten. Die Realisierung ist für Ende 2021 vorgesehen.

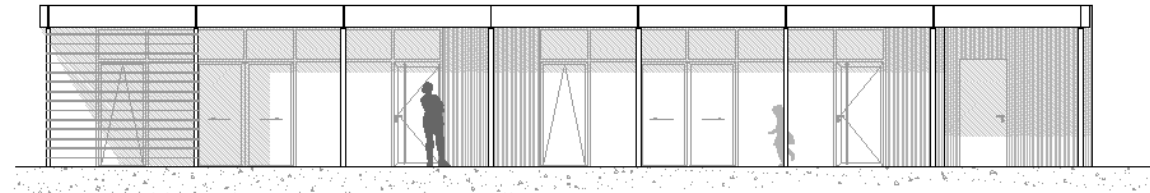


Abbildung 16: Ansicht Holzmodul DFK.75

Das Gebäude dient als Muster für die Entwicklung weiterer Schulergänzungsbauten vom Typ DFK2.0, dass perspektivisch die Schulbauoffensive des Landes Berlin (BSO) mit kostengünstigen Gebäuden in modularer Bauweise und mit kurzer Bauzeit unterstützen soll. Zielsetzung ist mit dem Gebäude einen Prototyp für die Grossserie zu entwickeln, der die wesentlichen technischen und funktionalen Aspekte des Bautyps klärt. Erprobt werden hier grundlegende Gedanken zur Gründung, Baukonstruktion in Tafelbauweise, Haustechnik mit dezentralen Lüftungsgeräten, Vergabe an regionale Holzbauunternehmen sowie Logistik und Betrieb.

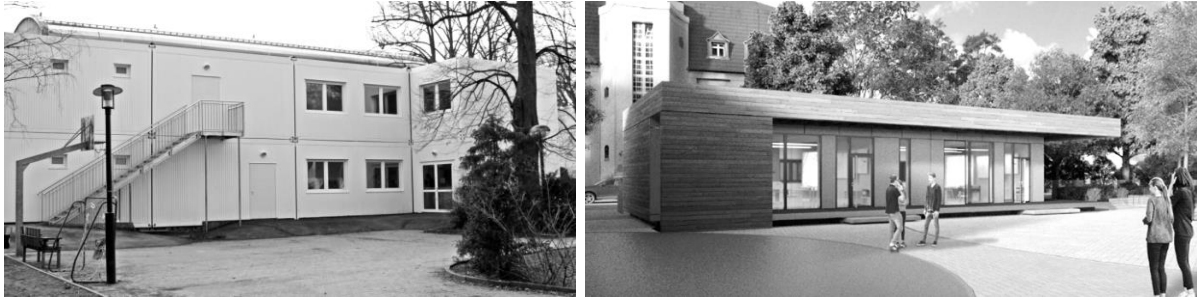


Abbildung 17 und 18: Schulersatzcontainer und Holzmodul DFK.75

3. Fazit und Ausblick

Sollten sich der Prototyp und der Pilot des DFK2.0 bewähren stünden dem Bezirk und dem Land Berlin ein Baukasten für temporäre, aber auch dauerhafte Schulbauten in Holzbauweise zur Verfügung. Dieser Baukasten käme bei Sanierungen von Altbauten und Platzbedarf für neue Schülerinnen und Schüler an Schulstandorten zum Einsatz. Durch seine Flexibilität ist der Baukasten für knifflige Standortsituationen und die Individualisierung der Nutzung durch die Nutzer prädestiniert.

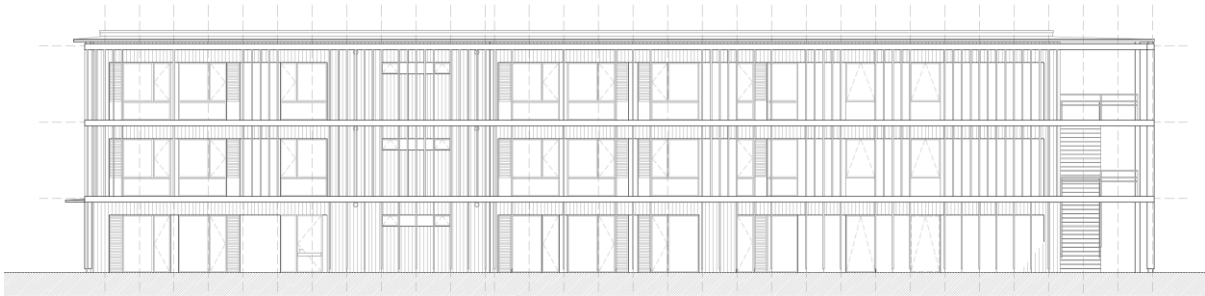


Abbildung 19: Ansicht Holzmodul DFK2.0

Der lange Weg: Berlin baut wieder in Holz

Andreas Otto, Mitglied des Berliner Abgeordnetenhauses
Baupolitischer Sprecher Fraktion Bündnis 90/Die Grünen
Berlin, Deutschland



Der lange Weg: Berlin baut wieder in Holz

1. Der Holzbau kehrt zurück

Holzgebäude gab es schon immer. Auch in Berlin. Ob die Hütten der Fischer auf der Fischerinsel oder die Siedlungshäuser in den Vororten – Holz war präsent. Selbst die Gründerzeitbauten seit 1880 mit ihren Holzdecken, den Dielen, die heute so gerne abgeschliffen werden und den Dachstühlen – viel Holz. Mit den Nachkriegsbauten und der Platte im Osten war es dann aber erstmal mit dem Holzbau weitgehend vorbei. Beton, Stahl und viel Glas sind die vorherrschenden Materialien der modernen Architektur.

Doch seit etwa 15 Jahren erleben wir auch in Berlin die Renaissance des Holzbaus. Die Motivationen dafür sind durchaus unterschiedlich. Den einen ist der Baustoff als Material wichtig, die anderen reizen die Möglichkeiten der industriellen Fertigung und damit schnellerer Bauprozesse und für die Dritten zählt das Klimaschutzargument am meisten. Jeder Kubikmeter Holz lagert annähernd eine Tonne Kohlendioxid ein. Jedes Haus ist ein CO₂-Speicher. Wir sind in Berlin noch ganz am Anfang dieser Renaissance, aber ich bin froh, dass dieser Anfang gemacht ist. Auch dieser Kongress ist ein Baustein für die Holzbaustadt Berlin. Deswegen bin ich sehr dankbar, dass Sie dieses Jahr hier tagen und mich gebeten haben, einen kleinen Beitrag dazu zu leisten.

Seit 15 Jahren bin ich Mitglied des Berliner Abgeordnetenhauses und baupolitischer Sprecher der Fraktion Bündnis 90/Die Grünen. Von den 15 Jahren habe ich, hat meine Fraktion zehn Jahre gegen verschiedene Landesregierungen opponiert, seit 2016 sind wir Teil einer rot-rot-grünen Landesregierung. Bis dahin wurde Holzbau kaum wahrgenommen oder in der Verwaltung diskutiert. Ein Beispiel: 2015 und 2016 – Sie werden sich erinnern – kamen besonders viele geflüchtete Menschen nach Deutschland und auch nach Berlin. Der Berliner Senat liess daraufhin modulare Unterkünfte errichten. In anderen Bundesländern wurden solche Gebäude bereits aus Holz errichtet. Es ging dabei um Geschwindigkeit, Möglichkeiten der Umnutzung und ggf. des Abbaus und Wiederaufbaus an anderer Stelle. In Berlin wurde Holzbau explizit im Vergabeverfahren ausgeschlossen. Holz hatte keinen Stellenwert und keine Unterstützung im Senat. Das hat sich nach der Wahl 2016 geändert. Im Koalitionsvertrag von rot-rot-grün steht: «Die Koalition will ein Holzbacluster aufbauen und anpassbare Prototypen für Holzbauten entwickeln, die durch lokale Handwerksbetriebe realisiert werden können.» Zum Schulbau heisst es: «Als Modellvorhaben werden Schulen in Holzbauweise errichtet.» Ausserdem haben wir vereinbart, dass in der Landesbauordnung die Genehmigung von Holzbauten vereinfacht werden soll. Über diese Punkte wurde damals noch gelächelt. Nicht nur Parlamentarier, auch manche Leute in der Verwaltung hatten noch nie davon gehört, dass ganze Schulen, dass siebengeschossige Wohnhäuser und vieles andere mehr aus Holz errichtet werden können. In der Regel als Hybridbau, aber eben mit einem hohen Holzanteil. Das Argument «aber Holz brennt doch» wird in der Öffentlichkeit und im politischen Raum zwar seltener verwendet, aber begegnet mir auch heute noch.

2. Vorreiter Staat oder privat?

Als Landesparlament mit gleichzeitig kommunalen Aufgaben, wie es in den deutschen Stadtstaaten üblich ist, geht der Blick zunächst auf die eigenen Vorhaben. Der Schulbau und die grossen Landesunternehmen, namentlich die Wohnungsbaugesellschaften und die Berliner Immobilienmanagement GmbH (BIM) sollen Vorreiter sein. Aber der öffentliche Sektor ist gleichzeitig so ein grosser und träger Akteur, dass diese Vorreiter-Rolle nur bedingt ausgefüllt wird. Im Wohnungsbau sind es andere, insbesondere Genossenschaften und Baugruppen, die in Berlin als erste sehenswerte Holzbauprojekte realisiert haben. Der Berliner Holzbaupreis, der auf meine Initiative im Abgeordnetenhaus das erste Mal 2019 verliehen wurde, zeigt ein ganz gutes Bild, welche Arten von Projekten es in den letzten 15 Jahren in Berlin gegeben hat.

Für einen baukulturellen und ökologischen Wandel zum Holzbau muss es um alle Vorhabensträger gehen. Private Wohnungsbauunternehmen und Projektentwickler, Gewerbebau, öffentliche Vorhaben. Der Schulbau ist dabei besonders prädestiniert. Denn in einer Holzschule lässt es sich nicht nur angenehm lernen, sondern es kann gleich vor Ort jungen Menschen erklärt werden, was es mit der CO₂-Thematik auf sich hat und was aus Bäumen alles werden kann.

3. Parlament bekennt sich zum Holzbau

Das Berliner Abgeordnetenhaus hat auf Basis des Koalitionsvertrages im März 2019 einen Beschluss gefasst, der dem Holzbau einen hohen Stellenwert gibt.



Nr. 2019/39/17
Drucksache 18/1726

Abgeordnetenhaus **B E R L I N**

– 18. Wahlperiode –

Gemäß Beschlussprotokoll über die 39. Sitzung des
Abgeordnetenhauses von Berlin am 21. März 2019
hat das Abgeordnetenhaus folgenden Beschluss gefasst:

Nachhaltigkeit auf den Bau: Berlin baut mit Holz

1. In Umsetzung des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramms (BEK) soll der Baustoff Holz in Berlin in deutlich stärkerem Umfang eingesetzt werden und als Kohlendioxidspeicher einen Beitrag zum Klimaschutz und zur Ressourceneffizienz leisten.
2. Der Senat wird aufgefordert, Forstwirtschaft, Handwerk, Industrie und Wissenschaft dabei zu unterstützen, Berlin-Brandenburg zu einer Region des Holzbaus zu entwickeln. Langfristig soll ein Holzbaucoluster entstehen.
3. Der Senat als größter Bauherr der Region muss beim Holzbau vorangehen. Holz soll bei Neubau und Erweiterung von Gebäuden des Landes Berlin und seiner nachgeordneten Einrichtungen und Beteiligungsunternehmen in verstärktem Maße eingesetzt werden. Zu verarbeitendes Holz muss grundsätzlich zertifiziert sein, um nicht Raubbau an Wäldern, insbesondere bei Importen, zu befördern.
4. Der Senat wird aufgefordert, in Auswertung der Förderprogramme anderer Länder und Kommunen (Baden-Württemberg, Hamburg, München etc.) Ziele und Potentiale für ein Förderprogramm „Urbaner Holzbau Berlin“ zu untersuchen. Damit sollen private Akteure animiert werden, stärker Holz als Baustoff einzusetzen.

Dem Abgeordnetenhaus ist bis zum 15. August 2019 zu berichten.

Für die Richtigkeit:
Berlin, den 21. März 2019

Dr. Reiter

Seitdem der Beschluss gefasst wurde steigt der Anteil des Holzbaus bei den Projekten der Verwaltung an. Namentlich sind einige Schulbauten, Kindergärten und Sporthallen zu nennen. Die landeseigenen Wohnungsbaugesellschaften haben allerdings erst einige wenige Projekte realisiert.

4. Der Markt in der Region muss sich entwickeln

Wer energisch etwas gegen den Klimawandel tun will, muss schnellstmöglich handeln. Gerade der Gebäudesektor ist dabei gefordert. Besonders einfach ist CO₂-Einsparung bzw. -einlagerung im Neubau. Deshalb müssten eigentlich alle Gebäude nur noch aus Holz errichtet werden. Doch es mangelt an Fachfirmen. Einzelne Ausschreibungen der öffentlichen Hand in Berlin erbrachten wenige oder gar keine Angebote. Das ist insofern erklärbar, als dass wir uns schliesslich in einem Bauboom befinden. Aber das ist nur ein Grund. Der zweite ist, dass in Berlin und Brandenburg jahrzehntelang der Holzbau - gemessen an dem was heute an Auftragsvolumen da ist oder sein wird - eine sehr kleine Branche war.

Um Vertrauen in eine dauerhafte Nachfrage zu generieren, hat der Senat die Wohnbebauung auf dem ehemaligen Flughafen Tegel zu einem Modellprojekt Holzbau erklärt. Dort sollen 5.000 Wohnungen errichtet werden. Damit wird eine ernsthafte Perspektive eröffnet. Bestehende Firmen aus dem Berliner und Brandenburger Raum können sich auf den wachsenden Markt einstellen, die grösseren Holzbaufirmen aus dem Alpenraum mit ihrem know how können Zweigstellen in der Hauptstadtregion aufbauen. Und vor allem erhält die klassische Bauindustrie erhält die Motivation, umzusteuern. Denn dort hakt es noch sehr.

Wir hatten eine ähnliche Situation in der Autoindustrie. Jahrelang haben Volkswagen, Daimler und die anderen grossen Hersteller an der alten Technik festgehalten. Seitdem Tesla sie überholt hat und sie spüren, dass es auch der EU und Deutschland ernst ist mit der Elektromobilität, strengen sie sich plötzlich an. Genauso könnte es in der Bauindustrie kommen. Wenn die Kunden den Stahlbeton nicht mehr nachfragen wie bisher, sondern Holzbauten im Geschosswohnungsbau, Dämmung aus Hanf oder anderen Naturstoffen, dann wir es sehr schnell gehen. Eine CO₂-Bepreisung von Zement und Stahl würde ebenso die Nachfrage nach nachwachsenden Baustoffen befördern.

Die Preisfrage ist neben allen anderen eine sehr entscheidende. Der Holzbau muss sich auch wirtschaftlich durchsetzen.

5. Tradierte Ausschreibungspraxis ändern

Mehrere Ausschreibungen der öffentlichen Hand für Holzbauprojekte haben die technologischen Möglichkeiten des Holzbaus, insbesondere der standardisierten Fertigung nicht ausgenutzt und die Projekte dadurch teurer gemacht als nötig. Die Zusammenarbeit muss insofern besser werden. Die Ausschreibungspraxis in Berlin, die ohnehin aktuell sehr stark auf Generalunternehmer oder -übernehmer orientiert, muss insofern angepasst werden. Dazu ist es nötig, dass die Ausschreibungen von Fachleuten gemacht werden, die das nötige Wissen und die nötige Erfahrung mit Holzbauprojekten haben. Dabei sind die Hochschulen gefragt, aber auch die Kammern, die ihre Weiterbildung.

6. Berlin – Brandenburg als Innovationsregion

Berlin und Brandenburg sind prädestiniert als Innovationsregion. Es bestehen bereits fünf länderübergreifende Cluster:

- Energietechnik
- Gesundheitswirtschaft
- IKT, Medien- und Kreativwirtschaft
- Optik und Photonik
- Verkehr, Mobilität und Logistik

Der Holzbau bzw. das nachhaltige Bauen insgesamt hat das Potential für ein weiteres Cluster oder eine ähnliche Struktur. Die Nachfrage ist da und es gibt den Rohstoff Holz. Allerdings ist noch zu klären, ob und wie die märkische Kiefer als aktuell vorherrschende Holzart auch massenhaft im Holzbau eingesetzt werden kann. Die Hochschulen in der Region sind für die Forschung und die Ausbildung von Fachkräften prädestiniert.

7. Fazit

Im politischen Raum in Berlin wird der Holzbau befördert. Die Verwaltung muss ertüchtigt werden, insbesondere durch qualifiziertes Personal. Die Branche erhält in der Hauptstadtregion Perspektiven durch eine gute Auftragslage. Durch ein Cluster sollen Wissenschaft, Anwendung und Besteller von Holzbautechnologien besser vernetzt werden. Die Voraussetzungen sind gut. Das grösste Hemmnis ist die Personalfrage. Wenn wenigstens ein Teil der «Fridays for Future» – Demonstranten Zimmerleute, Ingenieure und Architektinnen werden, dann können wir es aber schaffen.

Mittwoch, 25. August 2021

Block A2
Effizient Bauen

dataholz.eu – Bibliothek für Bauteile, Bauteilfügungen und Referenzprojekte

Maren Kohaus
Dipl.-Ing. Architektin
Technische Universität München
Fakultät für Architektur
München, Deutschland



dataholz.eu – Bibliothek für Bauteile, Bauteilfugungen und Referenzprojekte

dataholz.eu¹

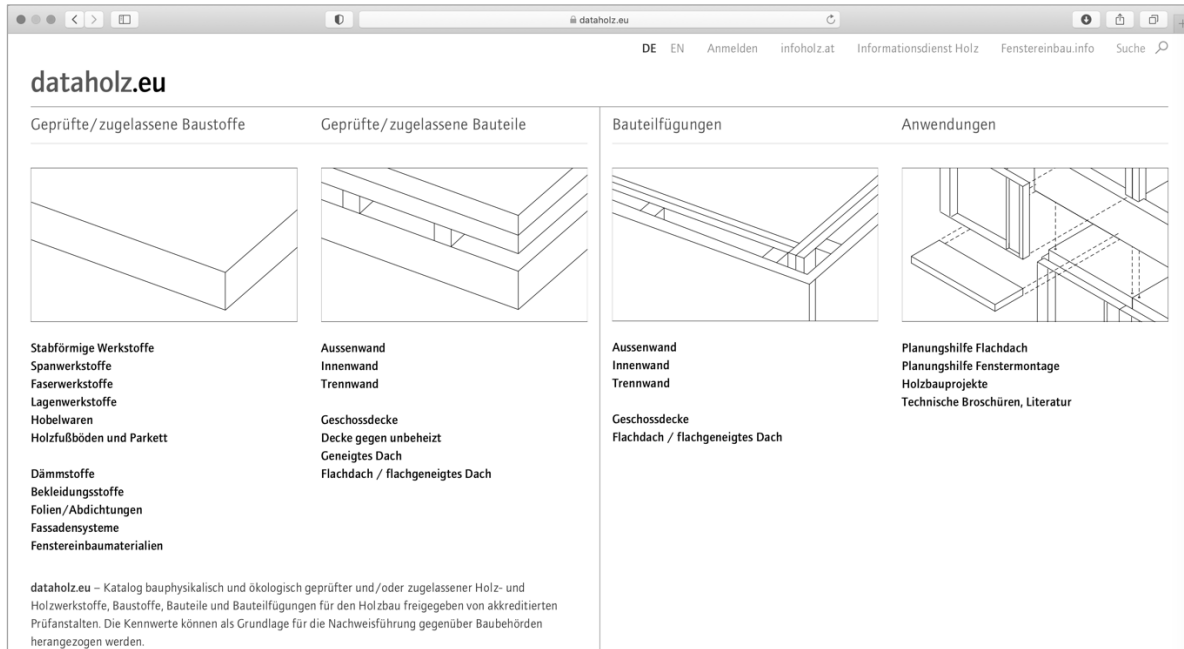


Abbildung 1: Darstellung der Startseite, www.dataholz.eu, Stand 09.07.2021

1. Ausgangssituation

1.1. Anlass

Der Holzbau – insbesondere der mehrgeschossige Holzbau – hat sich in den europäischen Ländern in den vergangenen Jahren zu einer hochleistungsfähigen Bauweise entwickelt und gewinnt zusehends weiter an Bedeutung. Eine ausserordentliche Produkt- und Konstruktionsvielfalt über die unterschiedlichen Bauweisen, wie Holztafel-, Holzskelett- und Holzmassivbau bietet den Planern und ausführenden Firmen aktuell jedoch auch eine derart grosse Variantenvielfalt, dass sich dies für eine intensive Marktdurchdringung in Verbindung mit der vielschichtigen Verknüpfung von Leistungsnachweisen als hinderlich herausstellt. Für sämtliche Varianten müssen zur Planungs- und Genehmigungssicherheit sowie zur Bauwerkserstellung baurechtliche Verwendbarkeitsnachweise und Leistungsnachweise für Bauphysik, Brandschutz und Tragwerk vorliegen. Hierfür ist eine Vielzahl an Produktregelungen auf Basis nationaler und europäischer Normen und Zulassungen zu beachten.

Zur Lösung dieser Situation wurde im Nachbarland Österreich 2004 durch die Holzforschung Austria (HFA) ein interaktiver Bauteilkatalog mit nahezu 1.500 Holzkonstruktionen und Bauteilanschlüssen entwickelt, deren nationale Verwendbarkeitsnachweise durch akkreditierte Prüfstellen erstellt und durch die HFA auf der Plattform dataholz.com öffentlich und kostenfrei zur Verfügung gestellt wurden.

¹ Auszüge aus dem Abschlussbericht zum Forschungsprojekt: dataholz.de – Anpassung des österreichischen Kataloges geprüfter Holzbauteile www.dataholz.com auf die Rahmenbedingungen in Deutschland, Erstellen einer Plattform mit in Deutschland baurechtlich verwendbaren Bauteilaufbauten www.dataholz.de.

Gefördert von: Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU. Forschungsstelle: Technische Universität München, Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt und Fakultät für Architektur, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, Professur für Entwerfen und Holzbau, Prof. Hermann Kaufmann; Informationen unter www.dataholz.eu

Die österreichischen Behörden erkennen eine Zitation dieser Nachweise als bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis im baurechtlichen Genehmigungsverfahren an. Eine derartige Informationsquelle war bis jetzt in Deutschland noch nicht vorhanden.

Im Rahmen von «dataholz.de» wurde dieses Prinzip auf die in Deutschland geltenden Rahmenbedingungen übertragen. Hierzu wurden für häufig verwendete Konstruktionsvarianten Angaben zu Bauphysik (Wärme-, Schall- und Feuchteschutz) sowie Brandschutz und ökologische Kenndaten erarbeitet und digital auf der interaktiven Plattform «dataholz.eu» kostenfrei zur Verfügung gestellt. Die Bauteile wurden hinsichtlich ihrer Leistungseigenschaften beurteilt und nationale baurechtliche Verwendbarkeitsnachweise u.a. in Zusammenarbeit mit externen Spezialisten und akkreditierten Prüfanstalten erarbeitet, um eine direkte Anwendbarkeit zu gewährleisten. Bauteilanschlüsse und Bauteilfügungen, ergänzt durch technische Konstruktionsgrundlagen, erweitern die Plattform zu einem umfangreichen Werkzeug für Planer und Ausführende im Holzbau. Spezifisch ausgewählte Referenzbauwerke mit Grundrissen, Schnitten und Details sowie grundlegenden Informationen zu Abmessungen, Kosten und Projektbeteiligten vervollständigen die neue Online Plattform.

Durch «dataholz.eu» wird eine Standardisierung erreicht, die zu einer gesteigerten Übersichtlichkeit, Planungssicherung und Kalkulierbarkeit von Holzbauten führt. Häufig wiederholende, objektbezogene Diskussionen und Problemstellungen werden einheitlich gelöst und ermöglichen hierdurch einen erheblichen Zeitgewinn im Planungs-, Genehmigungs- und Ausführungsprozess. Für versierte als auch neue Anwender wurde durch die Onlineplattform ein praxisorientiertes Informationsangebot zur Realisierung von Holzbauwerken geschaffen. Dadurch soll die Akzeptanz des Baustoffes Holz bei Bauherren, Investoren, Planern und Behörden steigern und eine erhebliche Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber alternativen Baustoffen bewirken. Durch die erleichterte Anwendung wird ein steigender Marktanteil des ökologischen und nachhaltigen Rohstoffes Holz in Deutschland erwartet. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung beim Bauen wird für die Zukunft die BIM-tauglichkeit im Sinn einer Bauteilbibliothek angestrebt.

1.2. Die Plattform dataholz.eu

Der Name des Forschungsprojektes «dataholz.de» soll die Anwendbarkeit der zukünftigen Plattform in Deutschland hervorheben. Das Ergebnis des Gemeinschaftsprojektes zwischen der Technischen Universität München und Holzforschung Austria stellt aber nicht zwei unterschiedliche Plattformen dar, sondern vielmehr eine länderübergreifende Plattform mit komplett überarbeitetem Layout, die ausgehend von Deutschland und Österreich im europäischen Raum eine hohe Akzeptanz erreichen soll. Der Name wurde aus diesen Gründen von ursprünglich dataholz.com auf dataholz.eu abgeändert. Dabei teilt sich die Plattform in folgende vier Bereiche auf:

- Geprüfte / zugelassene Baustoffe
- Geprüfte / zugelassene Bauteile
- Bauteilfügungen
- Anwendung / Referenzprojekte

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde der Bereich «Bauteile», «Bauteilfügungen» und «Anwendung» auf die deutschen Rahmenbedingungen angepasst.

Der Bereich «Baustoffe» enthält europäisch harmonisierte und herstellereigenspezifische Baustoffe, die entsprechend in Deutschland verwendet werden können. Der Abschnitt «Geprüfte / zugelassene Bauteile» wurde aufgrund der baurechtlichen Diskrepanz zwischen den Ländern durch nationale Nachweisdokumente und somit einer Anwendung für Deutschland überarbeitet und durch die Ergänzung neuer Aufbauten aktualisiert.

Der Bereich «Bauteilfügungen» wurde länderübergreifend aktualisiert und durch für die Praxis relevante Anschlüsse inklusive technischer Hinweise ergänzt.

Abschliessend steht dem Nutzer unter «Anwendung» ein komplett neu erarbeiteter Teil mit realisierten «Referenzprojekten» inklusive projektspezifischer Daten und Darstellungen zum Montageablauf zur Verfügung. Durch weitere Verlinkungen auf aktuell gültige technische Dokumentationen wird dem Anwender ein Informationsangebot zu holzbau-spezifischen Lösungen angeboten.

2. Bauteile

2.1. Grundlagen

Die bestehende Plattform dataholz.com hat sich seit deren Einführung 2004 stetig weiterentwickelt. Fortlaufend wurden neue Bauteile ergänzt, um einen sehr grossen Anteil aller in Österreich gebräuchlichen Holzbaukonstruktionen abzudecken. Praktisch häufig benötigt und angewendet wird von dieser Anzahl naturgemäss nur ein Bruchteil.

Aus diesem Sachverhalt ergibt sich, dass es für eine sinnvolle Anwendbarkeit von dataholz in Deutschland nicht erforderlich ist, alle Bauteile mit in Deutschland gültigen baurechtlichen Verwendbarkeitsnachweisen auszustatten. Diese Überlegung ist gerade auch vor dem Hintergrund relevant, dass die Erstellung von in Deutschland gültigen Verwendbarkeitsnachweisen mit einem hohen Aufwand verbunden ist.

Ein Ziel des Projektes lag daher darin, sich zunächst auf die wichtigsten und am Häufigsten nachgefragten Bauteile zu beschränken. Durch die gezielte Bauteilauswahl und die enge Abstimmung mit dem Projektbeirat wird dem praktischen Anwender ein Portfolio von in Deutschland üblichen Bauteilen zur Verfügung gestellt.

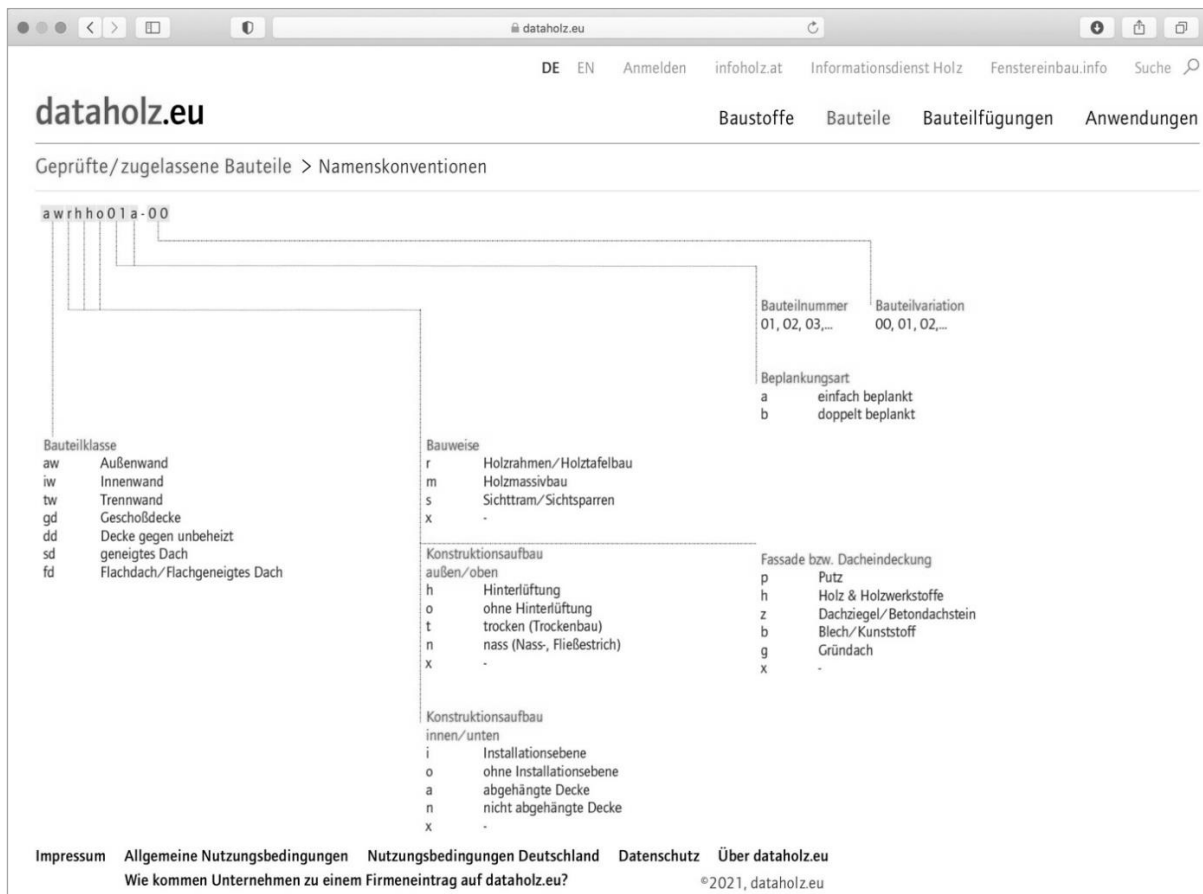


Abbildung 2: Darstellung der Übersicht der Nomenklatur, Stand 09.07.2021

Die im vorgenannten Prozess ausgewählten Bauteile wurden auf der Plattform dataholz.eu implementiert und nach «Wände», «Decken», «Geneigtes Dach» und «Flachdach» und dazugehörigen Unterkategorien z. B. Aussen-, Innen- und Trennwände und Geschosdecken, usw. kategorisiert. Die Kategorien basieren auf der bestehenden Systematik von dataholz in Österreich und wurde im Rahmen der Projektbearbeitung aktualisiert. Somit konnten die bestehenden Bauteile eingruppiert und die Nomenklatur, die die Gliederung widerspiegelt, grösstenteils beibehalten werden. Unterschiedliche Materialien und Dicken führen zu identischen Bauteilen hinsichtlich des Schichtenaufbaus. Aus diesem Grund wird in dataholz zwischen Bauteil und Bauteilvariante unterschieden. Zu jedem Bauteil gibt es unterschiedliche Varianten, die hinsichtlich des Dämmmaterials und ihrer Schichtdicken

variieren und folglich auch andere brandschutztechnische und bauphysikalische Leistungseigenschaften besitzen. Durch die Filterfunktion können Untervarianten mit spezifischen Eigenschaften ausgewählt werden; die nicht der Auswahl entsprechenden Varianten werden grau hinterlegt.

Aussenwand awrhh01a
Aussenwand Holzrahmen/Holztafel, hinterlüftet/belüftet, ohne Installationsebene, geschalt

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau (außen nach innen)

Dicke [mm]	Baustoff	Wärmeschutz				Brandverhaltensklasse EN
		λ	μ min-max	ρ	c	
A 24,0	Holz Lärche Fassade	0,155	150	600	1,600	D
B 30,0	Holz Fichte Lattung versetzt (30/50, 30/80) - Hinterlüftung	0,120	50	450	1,600	D
C 15,0	MDF	0,140	11	600	1,700	D
D	-variables Konstruktionsholz					
E	-variierbarer Dämmstoff					
F	OSB (luftdicht verklebt)	0,130	200	600	1,700	D
G	Gipsplatte Typ DF (GKF) oder	0,250	10	800	1,050	A2
G	Gipsfaserplatte	0,320	21	1000	1,100	A2

Bauteilvarianten

	Schichtdicke		Baustoff	Σ	Brand REI	Wärme U [W/(m ² K)]	Diffusion	Schall R _w (C,C _p)	Öko Δ 013	Masse m [kg/m ²]
	Dicke [mm]									
awrhh01a-09	D	160,0	Konstruktionsholz (60/., e=625)	259,0	60 von innen 30 von aussen	0,25	geeignet	47 (-2,-8)	30,79	60,0
	E	160,0	Mineralfaser (040; 30; $\geq 1000^{\circ}\text{C}$)							
	F	15,0	OSB							
	G	15,0	Gipsplatte Typ DF (GKF)							
	G	15,0	Gipsfaserplatte							
awrhh01a-10	D	160,0	Konstruktionsholz (60/., e=625)	259,0	60 von innen 30 von aussen	0,25	geeignet	47 (-2,-8)	18,25	60,4
	E	160,0	Zellulosefaser (040; 50)							
	F	15,0	OSB							
	G	15,0	Gipsplatte Typ DF (GKF)							
	G	15,0	Gipsfaserplatte							

Abbildung 3: Darstellung der Bauteilvariante mit Untervarianten, www.dataholz.eu, Stand 09.07.2021

2.2. Anforderungen an die Bauteile

Eine Plattform wie dataholz kann nicht den objektspezifischen Gesamtnachweis zur Verfügung stellen, sondern soll dem Planer und Ausführenden Bauteilnachweise zur Verfügung stellen, die in den Gesamtnachweis implementiert werden können. Aus dem Gesamtnachweis, z.B. dem Nachweis der Standsicherheit oder dem Brandschutznachweis resultierend die geforderten Leistungseigenschaften der Einzelbauteile wie z.B. Wände, Decken, die auf einer Plattform wie dataholz zur Verfügung stehen.

In dataholz werden pro Bauteil die Leistungseigenschaften Brand, Schall, Wärme und Ökodatendargestellt, die baurechtlich in privatrechtliche und bauaufsichtlich einzuhaltende Anforderungen aufgeteilt werden. Abhängig davon ergibt sich der notwendige Nachweis zur Bestätigung der Leistungseigenschaft für den Planer oder Ausführenden. Die Bauregellisten und Liste der eingeführten Technischen Baubestimmungen, bzw. die Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen regelt hierzu, welche technischen Baubestimmungen eingeführt sind und welcher Nachweise zu erbringen ist, falls keine technischen Regeln zur Verfügung stehen.

3. Referenzprojekte

3.1. Allgemeines

Die Idee des Forschungsantrages dem Nutzer einen direkten Bezug zu realisierten Projekten in Holzbauweise aufzuzeigen, wurde aufgegriffen und hinterfragt. Daraus resultiert die Annahme, dass der direkte Bezug zur Praxis am deutlichsten durch die Darstellung anhand der Zeichnungen des ausführenden Holzbauunternehmens zu vermitteln ist. Abweichend von

anderen «Best Practice Plattformen», wurde vorgeschlagen, keine sogenannten «Leuchtturmprojekte», zu zeigen, die in der Regel Sonderlösungen im Detail beinhalten, sondern sogenannte «Schwarzbrotprojekte», die in der Praxis am häufigsten realisiert werden.

Der Fokus liegt hier auf einer vertieften Darstellung der relevanten Detailanschlüsse. Basis der Zeichnungen soll nicht die Architektenzeichnung sein, die häufig nicht der Realisierung entspricht, sondern eine neu aufbereitete Zeichnung in der Detailtiefe eines Architektendetails, jedoch basierend auf der Holzbauplanung. Für die Erstellung der Details wurden bei jedem Projekt eine intensive Recherche des tatsächlichen Montageablaufs durchgeführt.

Derzeit sind 15 Projekte mit textlicher Erläuterung, Fotos, 2D Zeichnungen und 3 Detailanschlüssen sowie der jeweils zugehörigen 3D Grafik auf der Plattform abgebildet.

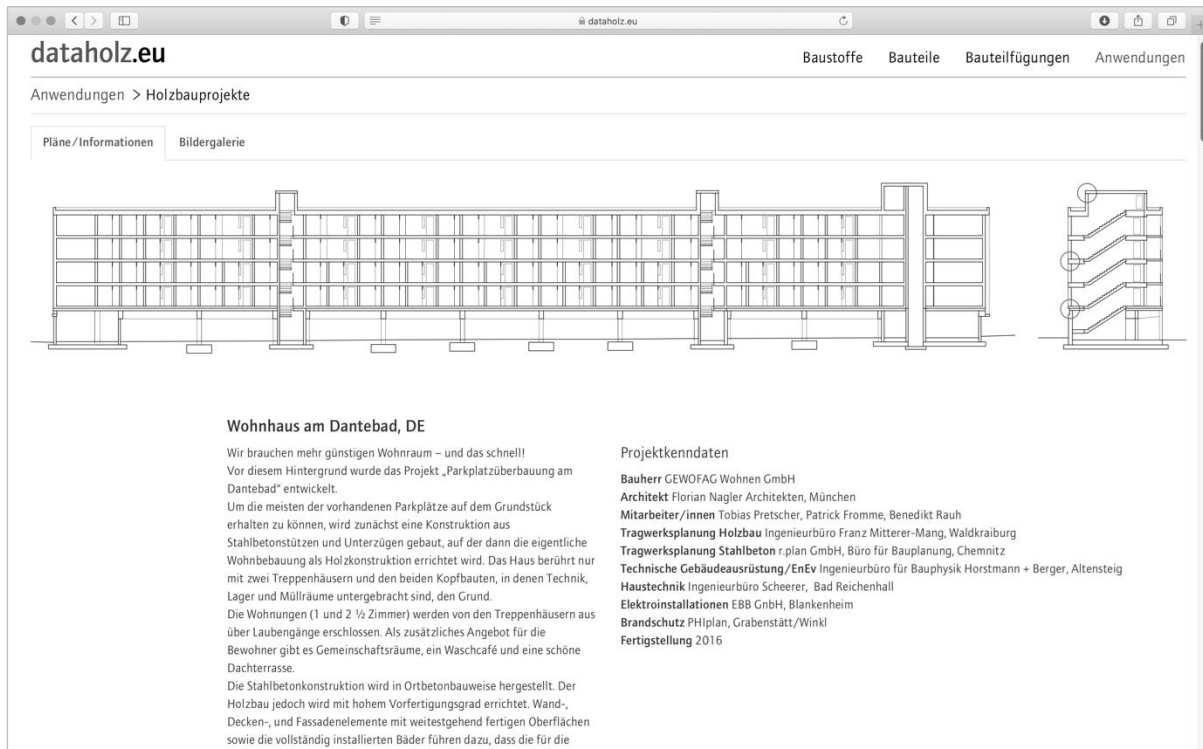


Abbildung 4: Darstellung der Startseite eines Holzbauprojekts mit Erläuterungen, www.dataholz.eu, Stand 09.07.2021

3.2. Projektauswahl

Bevor eine Auswahl von Projekten getroffen werden konnte, wurden Kriterien festgelegt, die für alle Projekte gleichermassen gelten sollten. Hervorzuheben ist das Kriterium der Konformität mit den Bauteilen aus dataholz.eu. Es muss jedoch einschränkend festgestellt werden, dass Projekte exakt mit Details gemäss den Aufbauten aus dataholz.eu und der Erfüllung der übrigen Kriterien kaum zu finden sind.

Die Auswahlkriterien im Einzelnen:

- Weitgehende Konformität der Bauteilaufbauten mit dataholz.eu
- Standardlösungen, keine Sonderkonstruktionen
- Keine Bauweisen, die in dataholz.eu nicht enthalten sind, z. B. Hybridbauweisen
- Projekte aus dem Gültigkeitsbereich von dataholz.eu, also A und D
- Hohe architektonische Qualität
- Mehrgeschossige Gebäude, jedoch keine Einfamilienhäuser

3.3. Inhalt und Darstellung

Jedes Referenzprojekt wird anhand eines Lageplans, Grundriss EG, einem Schnitt und einer Projektbeschreibung beschrieben und dargestellt. Vertiefte Information bieten die jeweiligen Projektkennwerte zum Gebäude: neben Angaben zu den ausführenden Firmen, den Baukosten und der Bauzeit werden technische Kenndaten (z.B. BGF, BRI, U-Werte...), Angaben zur jeweiligen Bauweise und Angaben zur Tragwerkskonzeption gemacht.

Im Weiteren erfolgen zeichnerische und textliche Angaben zur Detailausführung bzw. Bauteilfugung im Bereich Attika, Wand-Decke-Wand und Sockel des jeweiligen Projekts: Das jeweilige Detail wird zunächst als 2D-Grafik dargestellt. Neben der Beschriftung der unterschiedlichen Materialien werden die jeweiligen Fügungen stichpunktartig in ihrer Ausführung beschrieben um den Aufbau der Gebäudehülle/ der Geschosdecke oder des Dachaufbaus zu verdeutlichen. Das Bedienmenü sieht an dieser Stelle eine direkte Verlinkung mit dem entsprechenden oder vergleichbaren Bauteil der Bauteilsammlung dataholz.eu vor.

Über einen weiteren Reiter kann der Anwender den 3D Aufbau / Montageablauf aufrufen. Hier wird mittels einer isometrischen Explosionszeichnung der Montageablauf erläutert und der jeweilige Vorfertigungsgrad verdeutlicht.

Die 2D und 3D Zeichnungen wurden auf Grundlage der Werk- und Detailplanung der jeweiligen Architekten bearbeitet. Gleichzeitig wurde die Werkstattplanung der ausführenden Firma hinzugezogen, um die tatsächliche Ausführung und den jeweiligen Vorfertigungsgrad und den Montageablauf zu verifizieren.

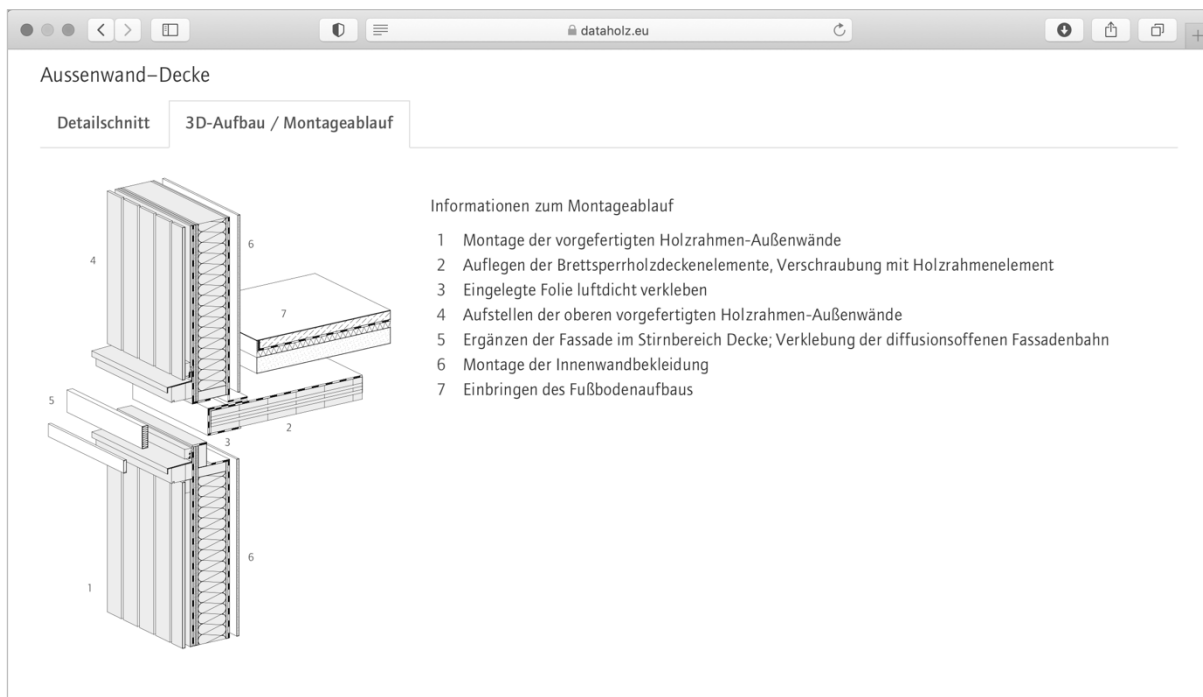


Abbildung 5: Darstellung eines Detailpunktes mit Montageablauf, www.dataholz.eu, Stand 09.07.2021

4. Bauteilfugungen

4.1. Anwendung

Die Rubrik «Bauteilfugungen» der Online-Datenbank zeigt typische Fügepunkte von exemplarisch ausgewählten Bauteilen der Datenbank im Massstab 1:10. Durch die gewählte zeichnerische und grafische Darstellung sowie die textlichen Hinweise, aufgeteilt in «Anmerkungen» und «Leistungseigenschaften», ist beispielhaft ersichtlich, worauf bei der Fügung zu achten ist, um die Kontinuität des Schichtenverlaufs im Fügepunkt zu wahren.

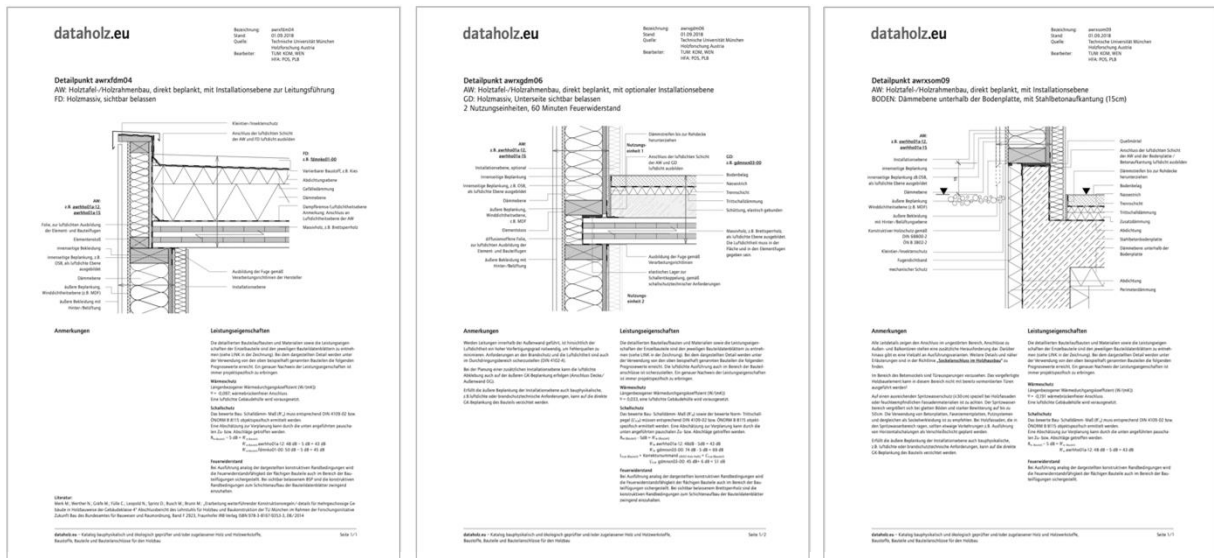


Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung der Datenblätter mit Grafik, textlichen Anmerkungen (unten links) und den Leistungseigenschaften (unten rechts), siehe hierzu auch Abb. 11, www.dataholz.eu, Stand 23.08.2019

Mit Hilfe eines Filters erfolgt die Eingrenzung von Bauteilkombinationen. Der Detailname gibt gemäss der Nomenklatur (Abb.2) Aufschluss über die Konstruktionsart der gefügten Bauteile. «awr x gdm» bedeutet, dass es sich um einen Fügepunkt mit einer Aussenwand in Holzrahmenbauweise und einer Geschossdecke aus Massivholz handelt.

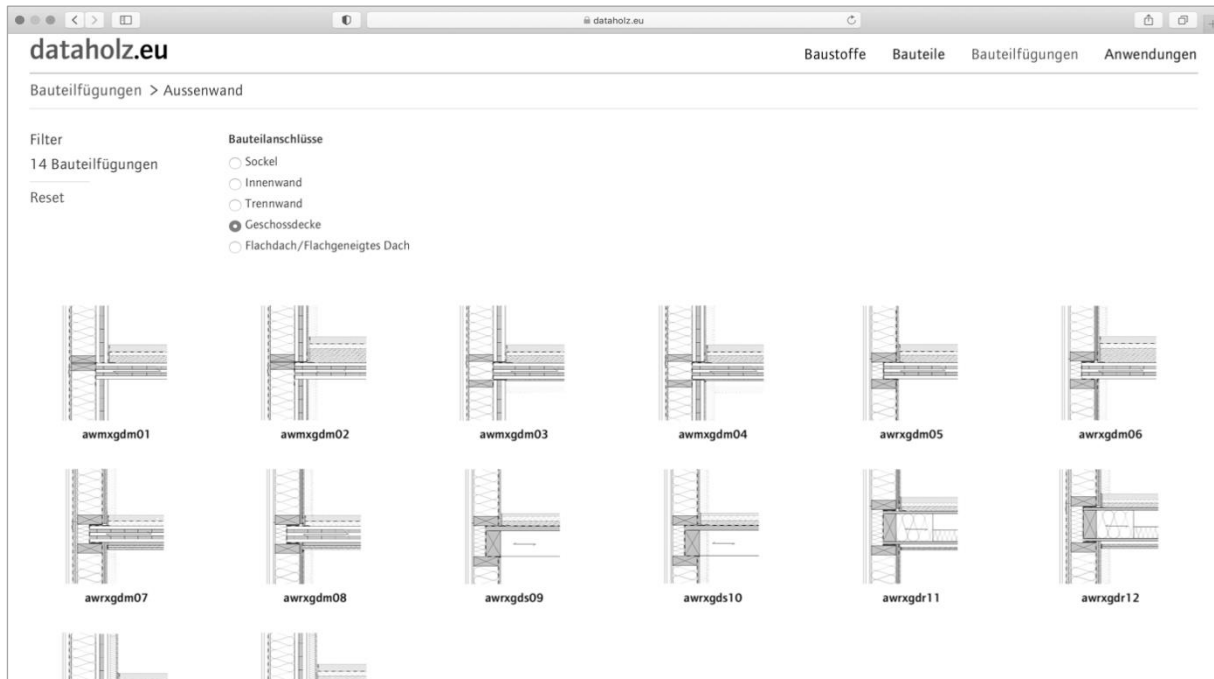


Abbildung 7: Darstellung der Übersicht mit Filteroptionen, www.dataholz.eu, Stand 09.07.2021; Die grafische Darstellung der Icons und der Detailname geben Aufschluss über die Konstruktionsart der Bauteile.

Das Konzept für die Erstellung der Bauteilfügungen und der Datenblätter ist an der Technischen Universität München, Professur Entwerfen und Holzbau, Prof. Hermann Kaufmann (Fakultät für Architektur) entwickelt worden und gemeinsam mit den anderen Projektbeteiligten – der Holzforschung Austria und dem Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Prof. Stefan Winter (Fakultät Bau Geo Umwelt) – im Laufe der Projektlaufzeit inhaltlich immer wieder abgeglichen worden. In einem «Praktikerworkshop» haben Beiratsmitglieder des Forschungsprojektes praxisrelevante Hinweise gegeben, die in die finalen Datenblätter der Fügepunkte mit eingeflossen sind. Die Bewertung der einzelnen bauphysikalischen Leistungsnachweise erfolgte am Lehrstuhl von Prof. Stefan Winter.

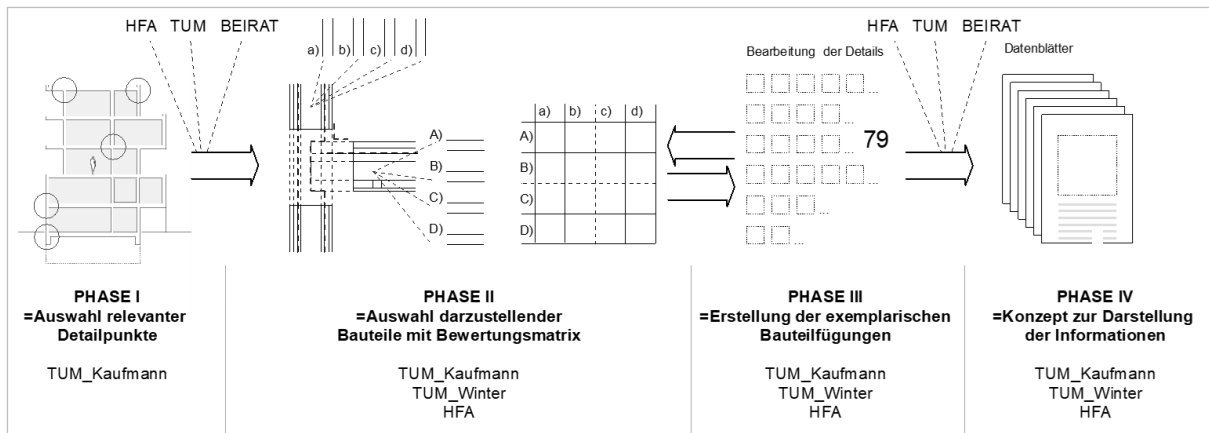


Abbildung 8: Überblick über den Erstellungsprozess der Datenblätter und der beteiligten Institutionen
Quelle: Forschungsbericht «dataholz.de», Grafik: M.Kohaus

4.2. Dargestellte Detailpunkte

Die folgenden Detailpunkte (Abb.9), sind im Rahmen des Forschungsprojektes für die Darstellung innerhalb der Bauteilfugungen ausgewählt worden:

- Einbindung der Geschosdecke in die Aussenwand (AW+GD)
- Aussenwand + Trennwand (AW+TW)
- Aussenwand + Innenwand (AW+IW)
- Trennwand + Geschosdecke (TW+GD)
- Innenwand + Geschosdecke (IW+GD)
- Attika (AW+FD)
- Sockel (AW+Boden)

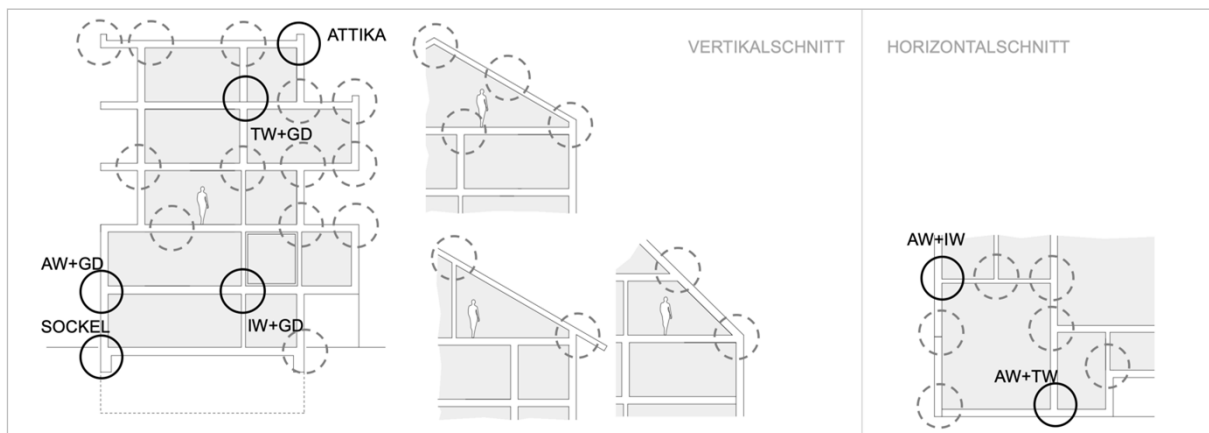


Abbildung 9: Ausgewählte (schwarz) und zukünftig noch zu bearbeitende Detailpunkte (grau) in Schnitt und Grundriss, Quelle: Forschungsbericht «dataholz.de», Grafik: M.Kohaus

Für vorstehende Detailpunkte wurde ein Konzept entwickelt, welche Bauteilaufbauten der Datenbank in welchen Kombinationen in welcher Detailtiefe dargestellt werden.

Die in der Grafik grau dargestellten Detailpunkte sollen zum Teil zu einem späteren Zeitpunkt in die Plattform eingearbeitet werden.

4.3. Auswahl darzustellender Bauteile

In der Online-Datenbank soll mit den ausgewählten Bauteilfugungen didaktisch aufgezeigt werden, welche Bauteilkombinationen üblich sind und nach welchen Kriterien eine Bauteilerauswahl bei der Planung eines Projektes erfolgen kann.

Für jeden Detailpunkt wurde eine Matrix erstellt (Abb.9), die ausgewählte Bauteilkombinationen aufzeigt. Analog zu den Filtermöglichkeiten der Datenbank wurde stets zwischen Massivholzbauteilen und zwischengedämmten Bauteilen (Holztafelbauweise / Rahmenbauweise) unterschieden.



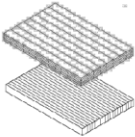
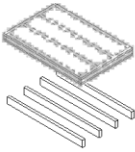
DETAILPUNKT AW-GD =EINBINDUNG DER GESCHOSSDECKE IN DIE AUSSENWAND							
		AW_HOLZMASSIVBAU			AW_HOLZTAFEL-/RAHMENBAU		
		AW_Massiv sicht	AW_direkt beplankt	AW_mit Inst.	AW_Holztafel sicht	AW_direkt beplankt	AW_mit Install
	GD_Massiv sicht	awm x gdm 01 awmoho03a-00 + gdmnxn02-04	awm x gdm 02 awmoho03a-04 (opt. mit Inst.) + gdmnxn03-00	awm x gdm 14 awmohi02a-04 + gdmnxn03-00	awr x gdm 05 awrho05a-11 + gdmnxn02-04	awr x gdm 06 awrho01a-12 (opt. mit Inst.) + gdmnxn03-00	
	GD_direkt beplankt	awm x gdm 03 awmoho03a-00 + gdmnxn01a-00 + Abhangvariante	awm x gdm 04 awmoho03a-04 (opt. mit Inst.) + gdmnxn01a-00 + Abhangvariante	awm x gdm 13 awmohi02a-04 + gdmnxn01a-00 + Abhangvariante			
	GD_Massiv mit Abhang.					awr x gdm 07 awrho04b-09 + gdmnxn02b-00	awr x gdm 08 awrho01a-12 (opt. mit Inst.) + gdmnxn02b-00
	GD_Balken sicht				awr x gds 09 awrho05a-11 + gdstbx01-00		awr x gds 10 awrho05a-11 (mit opt. Inst.) + gdstbx01-00
	GD_direkt beplankt						
	GD_Balken mit Abhang.					awr x gdr 11 awrho01a-12 + gdrnxa07b-04	awr x gdr 12 awrho04b-09 (mit opt. Inst.) + gdrnxa07b-13

Abbildung 10: Überblick über die Auswahl der Bauteile (Holzmassivbau und Holztafel-/Rahmenbau) in den jeweiligen Fügedetails für den Detailpunkt AW-GD, Quelle: Forschungsbericht «dataholz.de», Grafik: M. Kohaus

Um in den Bauteilkombinationen unterschiedliche bauphysikalische (z.B. Brandschutz, Schallschutz, Feuchteschutz, Luftdichtheit), baupraktische (Auflagersituation, Leitungsführung, Montageprozess) und/oder auch ästhetische Anforderungen (Oberflächenmaterialität, Detaillierung) zu berücksichtigen, wurden für jeden ausgewählten Detailpunkt exemplarische Bauteile mit den folgenden Kriterien ausgewählt:

- sichtbar belassene Holzbauteile/Konstruktion
- Bauteile mit direkten Beplankungen (z.B. um Oberflächenbeschaffenheiten und/oder Kapselkriterien, variieren zu können)
- Bauteile mit zusätzlicher, bzw. optionaler Installationsebene zur Leitungsführung

Um die Übertragbarkeit auf eine Vielzahl von Projekten zu ermöglichen, wurden Bauteilkombinationen mit unterschiedlichen ökonomischen und bauphysikalischen Anforderungen ausgewählt und eingeteilt in:

- «kostengünstigere» Bauteilkombinationen
(z.B. für 1-2 Nutzungseinheiten, mit geringeren Schall- und Brandschutzanforderungen)
- «höherwertigere» Bauteilkombinationen
(z.B. für mehrere Nutzungseinheiten, in einer höheren «Gebäudeklasse», mit höheren Schall- und Brandschutzanforderungen)

- «hochwertige» Bauteilkombinationen
(z.B. für mehrere Nutzungseinheiten, in einer höheren Gebäudeklasse mit hohe Schall- und Brandschutzanforderungen, sowie z.B. zusätzlichen Installationsebenen für eine verdeckte Leitungsführung)

Für jeden Detailpunkt wurden somit 9-14 unterschiedliche Bauteilkombinationen ausgewählt, so dass insgesamt 79 Bauteilfügungen ausgearbeitet wurden:

-AW+GD:	14 Varianten
-AW+TW:	13 Varianten
-AW+IW:	13 Varianten
-TW+GD:	9 Varianten
-IW+GD:	10 Varianten
-Attika:	10 Varianten
-Sockel:	10 Varianten
<u>=insgesamt</u>	<u>79 Bauteilfügungen</u>

Diese Vielzahl von Varianten zeigt ein breites Anwendungsspektrum und gibt in der vergleichenden Darstellungsweise dem Anwender die Möglichkeit baupraktische Besonderheiten (z.B. Verminderung der Flankenübertragung durch Elastomerlager und z.B. Ausführungsart der luftdichten Ebene) zu erkennen, nachzuvollziehen und auf das eigene Projekt zu übertragen.

Prämisse für die BauteilAuswahl war, dass Bauteile in mehreren Detailpunkten Verwendung finden sollten, und in den relevanten Fügepunkten, wie z.B. bei dem Verlauf der Gebäudehülle mit den Detailpunkten «Attika», «Einbindung der Geschosdecke» und «Sockel», mit denselben Bauteilen nachvollziehbar dargestellt werden (Abb.4 und Abb.6). In einem iterativen Prozess wurden die Beiträge der projektbeteiligten Institutionen der TUM, der Holzforschung Austria und den Experten des Projektbeirats immer wieder zusammengeführt, abgestimmt und in die Details eingearbeitet (Abb.8).

Die für jeden Detailpunkt erstellten Bewertungsmatrizen (Abb.9) mit Angabe der ausgewählten Bauteile, sowie die dazugehörige grafische Übersicht (Abb.10) ist im Forschungsbericht einsehbar².

²Abschlussbericht Forschungsprojekt «dataholz.de»:
https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-32350_02-Hauptbericht.pdf

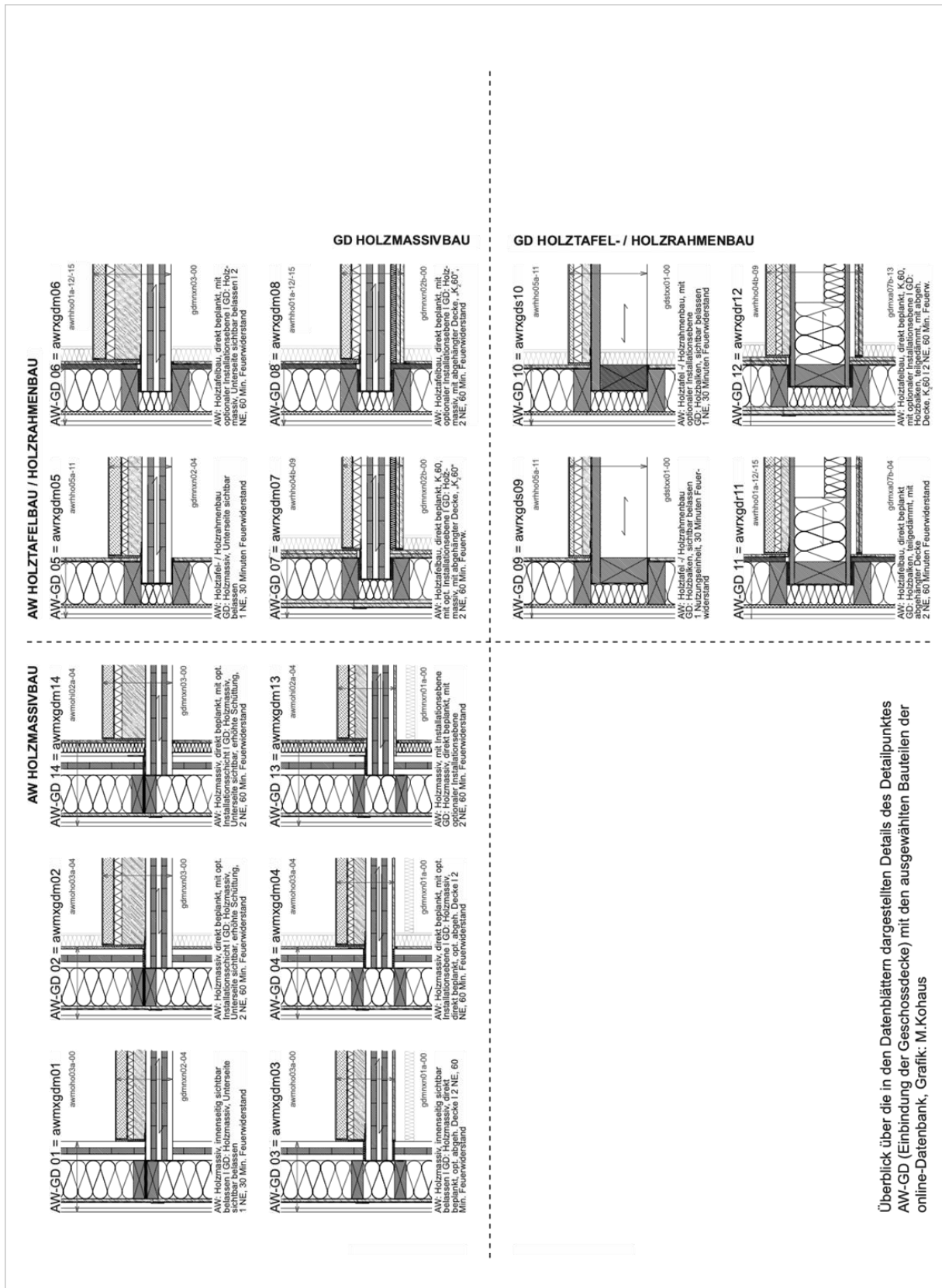


Abbildung 11: Um praxisrelevante Bauteilfugungen darzustellen, wurden primär Bauteilfugungen gewählt, die im mehrgeschossigen Holzbau angewendet werden können. Aus diesem Grund wurden z.B. Kombinationen von «Balkendecken/Holztafelbau» mit massiven Holzwänden nicht näher betrachtet, sondern vermehrt Varianten mit Massivholzdecken dargestellt, Quelle: Forschungsbericht «dataholz.de»

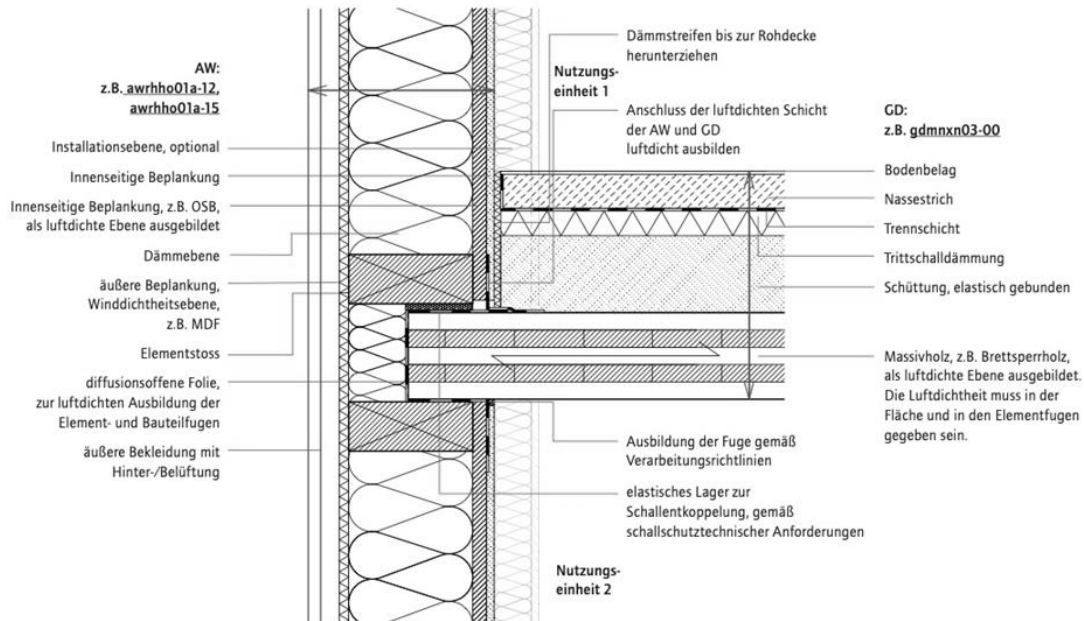
Bezeichnung: awrxgdm06
 Stand: 01.09.2018
 Quelle: Technische Universität München
 Holzforschung Austria
 TUM: KOM, WEN
 Bearbeiter: HFA: POS, PLB

Detailpunkt awrxgdm06

AW: Holztafel-/Holzrahmenbau, direkt beplankt, mit optionaler Installationsebene

GD: Holzmassiv, Unterseite sichtbar belassen

2 Nutzungseinheiten, 60 Minuten Feuerwiderstand



Anmerkungen

Werden Leitungen innerhalb der Außenwand geführt, ist hinsichtlich der Luftdichtheit ein hoher Vorfertigungsgrad notwendig, um Fehlerquellen zu minimieren. Anforderungen an den Brandschutz und die Luftdichtheit sind auch im Durchdringungsbereich sicherzustellen (DIN 4102-4).

Bei der Planung einer zusätzlichen Installationsebene kann die luftdichte Abklebung auch auf der äußeren GK-Beplankung erfolgen (Anschluss Decke/Außenwand OG).

Erfüllt die äußere Beplankung der Installationsebene auch bauphysikalische, z.B. luftdichte oder brandschutztechnische Anforderungen, kann auf die direkte GK-Beplankung des Bauteils verzichtet werden.

Leistungseigenschaften

Die detaillierten Bauteilaufbauten und Materialien sowie die Leistungseigenschaften der Einzelbauteile sind den jeweiligen Bauteildatenblättern zu entnehmen (siehe LINK in der Zeichnung). Bei dem dargestellten Detail werden unter der Verwendung von den oben beispielhaft genannten Bauteilen die folgenden Prognosewerte erreicht. Die luftdichte Ausführung auch im Bereich der Bauteilanschlüsse ist sicherzustellen. Ein genauer Nachweis der Leistungseigenschaften ist immer projektspezifisch zu erbringen.

Wärmeschutz

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient ($W/(mK)$)
 $\psi = 0,033$; eine luftdichte Gebäudehülle wird vorausgesetzt.

Schallschutz

Das bewerte Bau- Schalldämm- Maß (R'_w) sowie der bewerte Norm- Trittschallpegel ($L'_{n,w}$) müssen entsprechend DIN 4109-02 bzw. ÖNORM B 8115 objektspezifisch ermittelt werden. Eine Abschätzung zur Vorplanung kann durch die unten angeführten pauschalen Zu- bzw. Abschläge getroffen werden.

$$R_w(\text{Bauteil}) - 5\text{dB} = R'_w(\text{Bauteil})$$

$$R'_w \text{ awrhho01a-12: } 48\text{dB} - 5\text{dB} = 43\text{dB}$$

$$R'_w \text{ gdmnxn03-00: } 74\text{dB} - 5\text{dB} = 69\text{dB}$$

$$L'_{n,w}(\text{Bauteil}) + \text{Korrektursummand (INFO Holz Heft)} = L'_{n,w}(\text{Bauteil})$$

$$L'_{n,w} \text{ gdmnxn03-00: } 45\text{dB} + 6\text{dB} = 51\text{dB}$$

Feuerwiderstand

Bei Ausführung analog der dargestellten konstruktiven Randbedingungen wird die Feuerwiderstandsfähigkeit der flächigen Bauteile auch im Bereich der Bauteilfugungen sichergestellt. Bei sichtbar belassenem Brettsperholz sind die konstruktiven Randbedingungen zum Schichtenaufbau der Bauteildatenblätter zwingend einzuhalten.

Abbildung 12: Darstellung Datenblatt awrxgdm06, Einbindung der Geschosdecke in die Aussenwand (AW-GD) mit praxisrelevanten Anmerkungen (links) und Angaben zu den Leistungseigenschaften (rechts), Quelle: www.dataholz.eu, Stand 09.07.2021

4.4. Inhaltliche und grafische Umsetzung

Themenbereiche, die nicht explizit für die Fügungen von Holzbauteilen relevant sind, wie z.B. exakte Spenglerdetails oder Ausführungsarten von Unterkonstruktionen etc., werden in den Datenblättern nicht vertieft gezeigt. Gleiches gilt auch für die Materialisierung der Fassadenbekleidung. Diese wird in den Details grafisch lediglich abstrakt dargestellt, um die Materialisierungsart offen zu lassen und auch andere Ausführungsarten zu ermöglichen. Folgende Informationen werden in den Datenblättern der Bauteilfügungen gegeben (Abb.11):

- Zweidimensionale Zeichnung, M1:10 mit Angabe der exemplarisch dargestellten Bauteile (mit direkter Verlinkung zur Datenbank) und Benennung der Bauteilschichten grafisch hervorgehobener, kontinuierlicher Verlauf der funktionalen Schichten
- Darstellung des Montageprozesses unter Annahme eines möglichst hohen Vorfertigungsgrades der gewählten Bauteile, wie z.B. bei der Überlappung von Folien, die Art der Abklebungen und Elementierungen einzelner Bauteilschichten ersichtlich. Da es sich jedoch nur um eine mögliche Art des Montageprozesses handelt, die sich projektspezifisch durchaus verändern kann, wurde bei den Bauteilfügungen keine zusätzliche dreidimensionale Sprengzeichnung mehr hinzugefügt. Dieser Aspekt des Vorfertigungsgrades und der damit zusammenhängenden Montagereihenfolge wird in den Referenzprojekten, an konkret ausgeführten Beispielen, visualisiert (Abb.5).
- Textliche «Anmerkungen», die auf Besonderheiten der Fügung hinweisen
- Angabe einer bauphysikalischen Bewertung des Fügepunktes hinsichtlich Wärme-, Schall-, Brandschutz in den «Leistungseigenschaften». Ziel ist es dem Anwender den Einfluss der Fugen und der konstruktiven Elemente auf die Leistungsfähigkeit der flächigen Bauteile aufzuzeigen und so Auswirkungen von Wärmebrücken oder Schallnebenwegen bereits innerhalb der frühen Planungsphase abschätzen zu können. Die Bauteilfügungen sind so ausgebildet, dass im Anschlussbereich mindestens die gleiche Feuerwiderstandsfähigkeit wie für die flächigen Bauteile erreicht wird und so die geforderte Begrenzung zur Ausbreitung von Feuer und Rauch für die gesamte Konstruktion gegeben ist.

Anzumerken bleibt, dass die aufgeführten Kennwerte als Planungsinstrument anzusehen sind und im objektspezifischen Nachweis unter Kenntnis der realen Ausführung, Abmessung und weiterführender Randbedingungen jeweils abschliessend zu prüfen sind.

5. «Ausblick» – weiteres Vorgehen – Aktualisierung

Als online-Datenbank wird «dataholz.eu» auch über das Forschungsprojekt hinaus fortlaufend hinsichtlich bautechnischer und baurechtlicher Neuerungen aktualisiert und um weitere Bauteile, Bauteilfügungen und Referenzprojekte ergänzt. So werden bis Ende 2021 ca. 30 weitere wichtige Detailpunkte – darunter auch Attiken mit Dachüberständen, sowie Trauf- und Ortgangdetails – online gestellt. Ferner sollen auch Sonderpunkte, wie Anschlüsse an Dachterrassen, Fenster-/Türanschlüsse, Loggien, Balkone und Anschlüsse an Stahlbetonbauteile bearbeitet werden. Bestehende Referenzprojekte werden zukünftig um den relevanten Detailpunkt «Trennwand – Trenndecke» ergänzt.

Die zukünftige Erweiterung der Datenbank zur «BIM-fähigen» Anwendung soll in einem gesonderten Schritt erfolgen.

Dieser Beitrag basiert auf dem gemeinsam mit Manfred Stieglmeier verfassten Text, der auf dem 12. Europäischen Kongress EBH 2019 in Köln vorgestellt wurde. Einige Aktualisierungen sind seitens der Autorin erfolgt.

wie planen wir den Holzbau

Ansgar Hüls
Hüls-Ingenieure – Tragwerke aus Holz
Blankenfelde-Mahlow, Deutschland



wie planen wir den Holzbau

1. Holzbau die Zukunftstechnologie

Der Holzbau hat in den letzten Jahren eine erhebliche Stellung im Rahmen des Hochbaus erreicht. Der Wunsch bei vielen Bauherren, Investoren und in der öffentlichen Hand nach Holzbau wächst. Wenn wir z.B. die Einhaltung der Klimaziele auch nur einigermaßen ernst nehmen wollen, dann muss mehr mit Holz gebaut werden.

Der geplante Holzbau soll aber eine entsprechende Qualität aufweisen. Wir möchten all die Vorurteile des letzten Jahrhunderts insbesondere der Nachkriegszeit hinter uns lassen. Der Holzbau ist heutzutage kein Billigbau – er ist eine überwiegend ökologische, qualitative und ansprechende Bauweise auf gutem Niveau. Um dieses Ziel zu erreichen ist eine entsprechende Planung, insbesondere auch des Holzrohbaus, erforderlich. Dies bietet allen Ingenieurbüros die Möglichkeit sich entsprechend zu qualifizieren und am Markt zu positionieren.



Abbildung 1

2. Tragwerksplanung

Zur Tragwerksplanung gehören die Statik, die Rohbauplanung, Detailarbeit, Schallwiderstandsplanung, Brandwiderstandsplanung, Wärmeschutzplanung, Ausschreibung und die Baustellenbegleitung.

Tragwerksplanung ist mehr als nur Statik zu rechnen.

Mehr als in der FEM aufs Knöpfchen zu drücken.

Der Holzbau hat sich enorm weiter entwickelt, da zum einen der Baustoff Holz sich technologisch entwickelt hat, zum anderen gibt es aber auch erheblich mehr Möglichkeiten durch die Entwicklung der Verbindungsmittel, sowie die Möglichkeiten der elektronischen Bemessungsverfahren wie z.B. RFEM – Berechnungen. Hierdurch sind die Anwendungen der Tragwerksplanung mit Holz erheblich gestiegen.

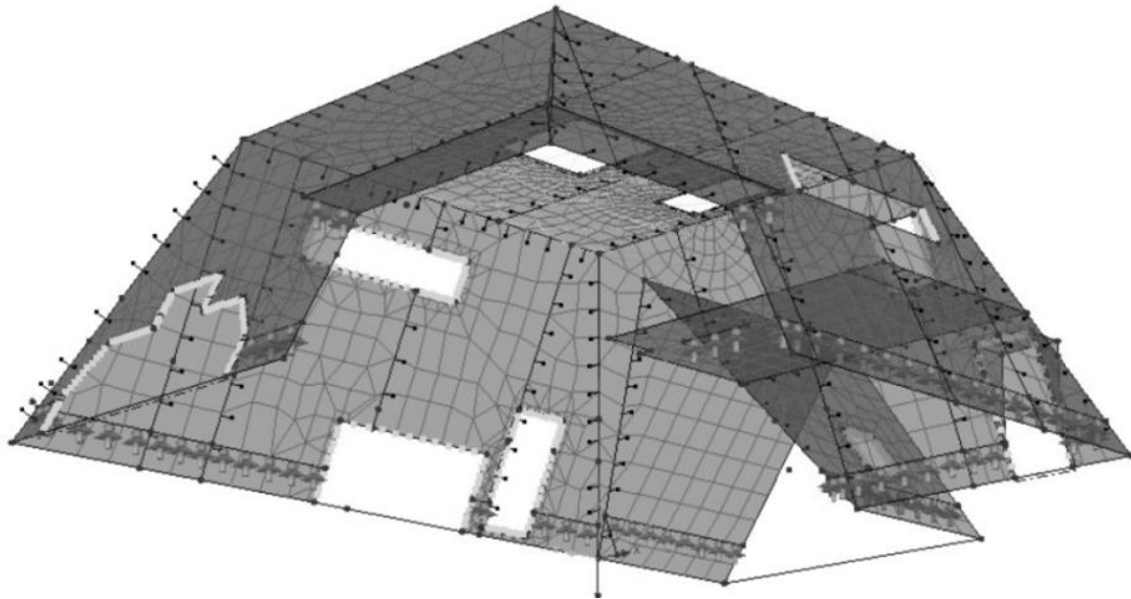


Abbildung 2

3. Zeichnung als Sprache des Ingenieurs

Zur Tragwerksplanung gehören, wie bereits festgestellt, die Statik, die Rohbauplanung, Detailarbeit, Schallwiderstandsplanung, Brandwiderstandsplanung, Wärmeschutzplanung, Ausschreibung und die Baustellenbegleitung.

Die Zeichnung ist aber die Sprache des Ingenieurs.

Mit entsprechenden Konstruktions.- bzw. Rohbauplänen kann die geforderte Qualität umgesetzt werden.

Diese Zeichnungen sind eine hervorragende Basis für die Ausschreibung.

Sie sind wie der Bauplan eines Bausatzes, die Arbeitsanweisung für den Zimmermann.

In den Plänen sollen alle für den Rohbau relevanten Informationen zur Lage der Bauteile deren technischen Anforderungen, der Oberflächengüten u.s.w. enthalten sein. Ebenso wichtig ist die Information zu den Details mit Angaben zu z.B. Verbindungsmitteln, erforderlichen Dichtungen, brandschutzrelevanten Informationen und ähnlichem.

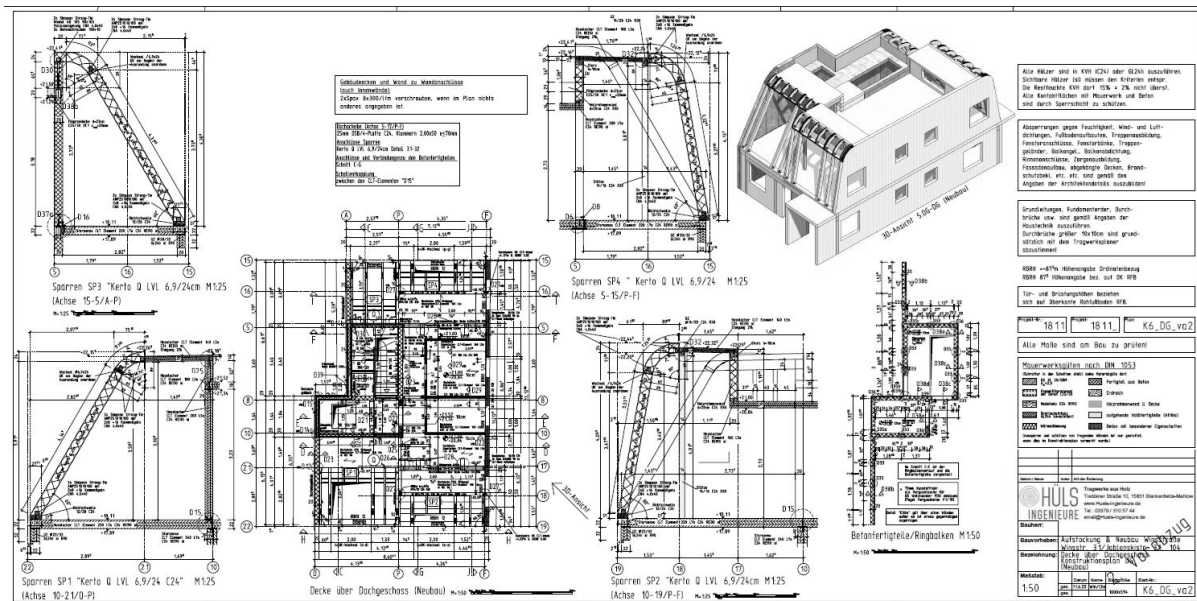


Abbildung 3

Die 3-dimensionale Planung ist im Bereich des Holzbaues ein bereits durch lange, alte Handwerkstradition umgesetzte Grundlage. Daher ist die Übergabe der Planung als ifc-Schnittstelle im 3d-Modell eine wichtige Voraussetzung für die Werksplanung.

Durch eine detaillierte und gründliche Rohbauplanung werden viele Fehler auf der Baustelle vermieden. Durch eine solche Planung können Kosten durch Fehlervermeidung, aber auch durch Einsparungen im Bereich der Werksplanung erreicht werden.

4. Detailarbeit

Die Detailarbeit hat in Kooperation und Abstimmung mit dem Architekten, der Haustechnik, dem Brandschutzkonzeptersteller und evtl. weiteren Beteiligten zu erfolgen. Bei der Tragwerksplanung sollte das Motto «Denken im Ganzen» immer im Vordergrund stehen. Das Ziel ist ein gutes Projekt zu erstellen. Dabei bitte nicht immer auf «Die Anderen» warten, sondern in der Entwicklung der Dinge evtl. auch mal Voran schreiten und andere auf dem Weg mitnehmen.

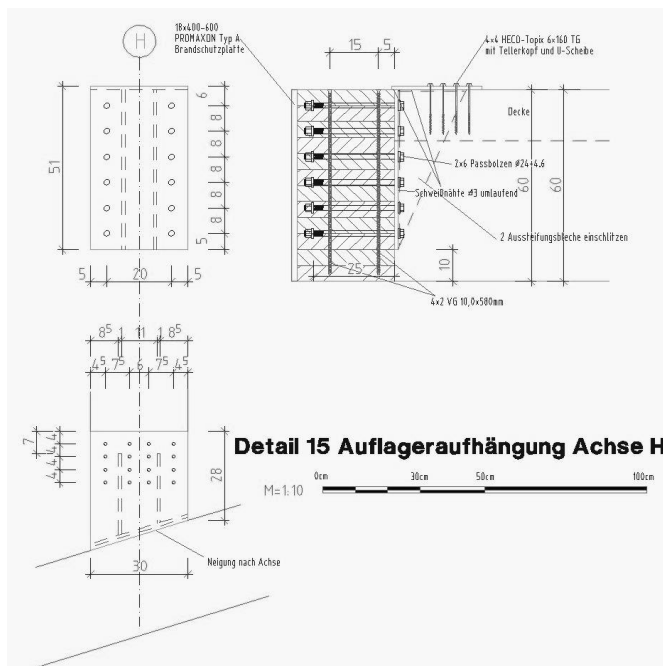


Abbildung 4



Abbildung 5

Details müssen so konzipiert sein, dass alle Belange der Statik, des Schallschutzes, der Brandsicherheit aber auch der Umsetzbarkeit auf der Baustelle beachtet werden.

5. Schallwiderstandsplanung

Holzbau hat viele gute Eigenschaften, aber auch 2 Problemeigenschaften. Die erste Thematik ist der Schallwiderstand.

Es gibt entweder die Möglichkeit der Schallwiderstandsbegrenzung über Masse, wie es im mineralischen Bereich wesentlich einfacher ist, oder die Entkoppelung bzw. das Verfahren mit mehreren getrennten Schichten, um den Frequenzdurchgang zu teilen. Bei der Schallschutzplanung sind der Luftschallübergang von Raum zu Raum durch die Decke und die Wand zu beachten.

Aber auch die Körperschallübertragung und insbesondere die Trittschallübertragung ist zu planen. Es sind die Schall- haupt.- aber auch die Schallnebenwege zu betrachten.

Um die vorangegangene Hochwertigkeit des Holzbaues zu unterstreichen ist insbesondere der niederfrequente Bereich beim Trittschallschutz zu betrachten. Hier sollte der s.g. Spektrumanpassungswert $C_{i50-2500}$ berücksichtigt werden.

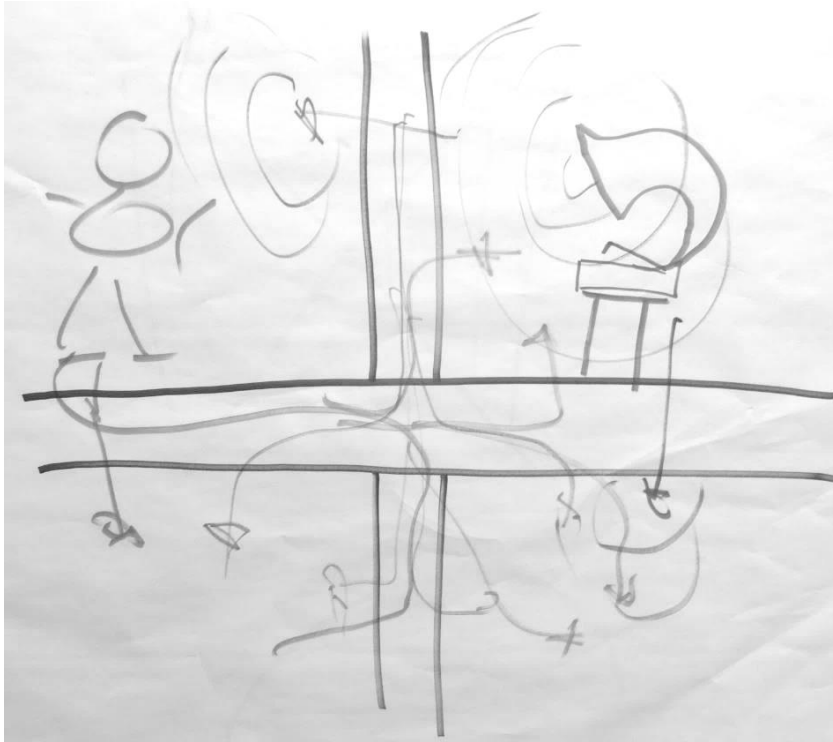


Abbildung 6

Der 1. Problembereich wird hier besonders deutlich durch die Forderung der Statik, die Bauteile kraftschlüssig zu verbinden, um Kräfte übertragen zu können.

Die Forderung sowohl aus dem Schall.-als auch dem Wärmeschutz verlangen genau das Gegenteil: Die Bauteile müssen getrennt werden.

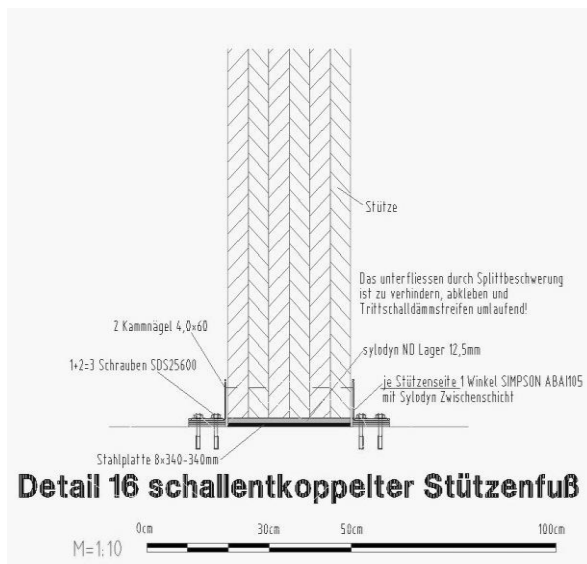


Abbildung 7

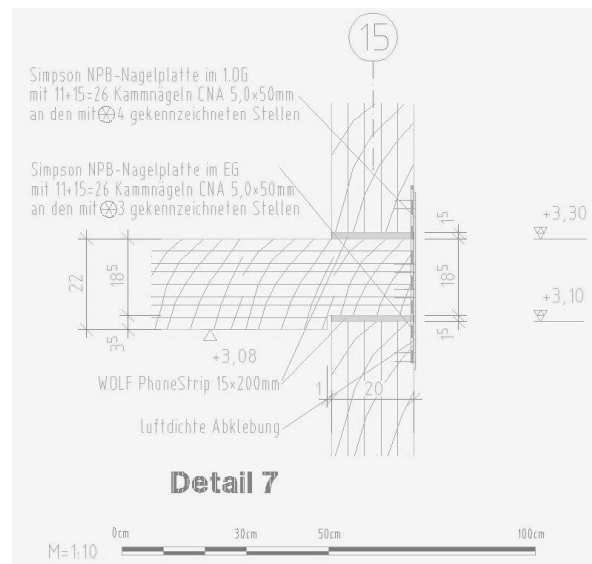


Abbildung 8

Details müssen so konzipiert sein, dass alle Belange der Statik, des Schallschutzes, der Brandsicherheit aber auch der Umsetzbarkeit auf der Baustelle beachtet werden.

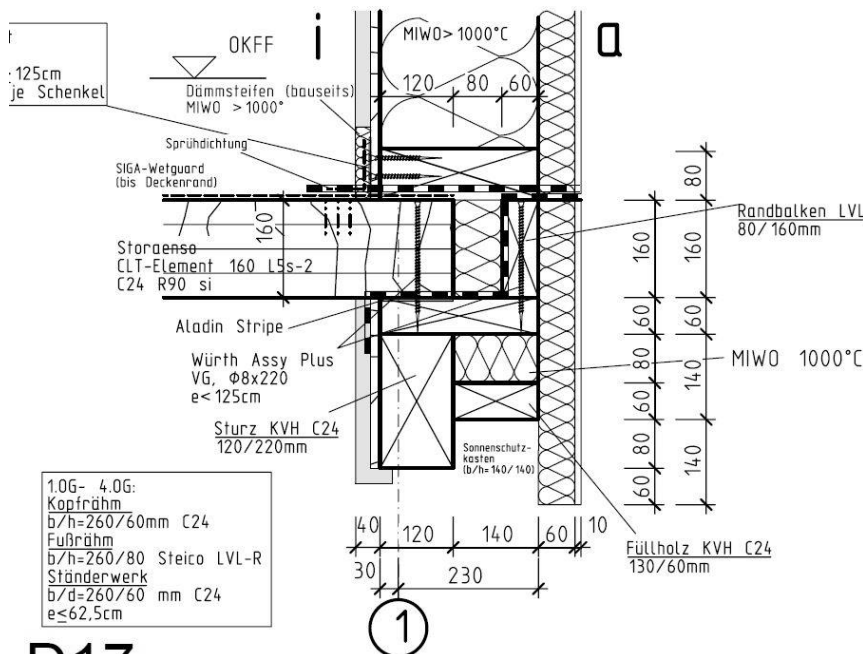
6. Feuchtigkeitsschutz

Die 2. Problemeigenschaft ist die Feuchtigkeitsempfindlichkeit des Baustoffes Holz. Grundsätzlich ist ein möglichst hoher Vorfertigungsgrad ganz allgemein für die Sicherung eines hohen Qualitätsstandards positiv.



Abbildung 9

Um den Holzbau vor Feuchtigkeit zu schützen ist die Planung im Detail erforderlich.



D17 Sturzhöhe Decke d=16cm

Abbildung 10

So sind bis zu 10m Wassersäule dichte Oberflächen zu erzielen.



Abbildung 11

7. Brandschutzplanung

Holz brennt – aber auch nicht von allein!

Holz bringt sogar den eigenen Brandschutz mit. Die Kohleschicht wirkt hitzedämmend.

Holz ist der einzige Baustoff, der kontrolliert abbrennt, je nach Holzrohddichte zwischen 0,5-0,8mm/min. Damit lässt sich der Brandwiderstand definieren und berechnen.



Abbildung 12

Holz kann entweder durch Beplankung vor Abbrand geschützt werden,

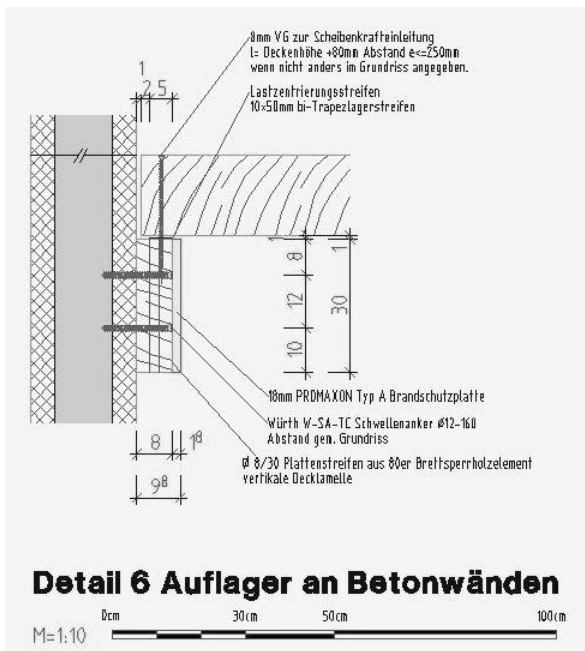


Abbildung 13

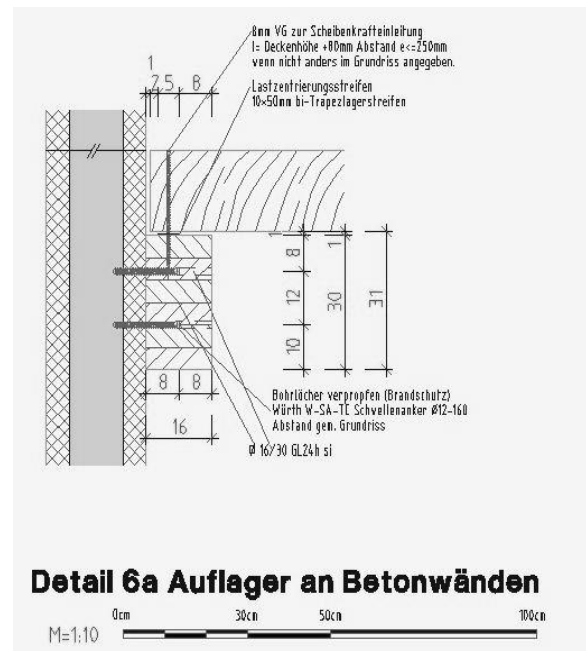


Abbildung 14

Oder durch entsprechende Holzüberdeckung

8. Definition aller Bauteilanforderungen in einem Detail

Planung der Brandanforderungen

REI-Planung

R – Resistance (Widerstand der Tragfähigkeit – Heissbemessung)

E – Étanchéité (Raumabschluss – Behinderung der Ausbreitung schädlicher Gase)

I – Isolation (Dämmung aufgrund Brandhitze)

Auch die Herstellung der luftdichten Gebäudehülle, der Reduzierung der Wärmebrücken, die Erreichung eines guten Schallwiderstandes müssen in ein Rohbaudetail einfließen.

Natürlich sind auch die statischen Belange wie der vertikale Lastfluss, als auch der horizontale Lastfluss s- die Weiterleitung der Wind.- und Aussteifungskräfte im gleichen Detail zu planen.

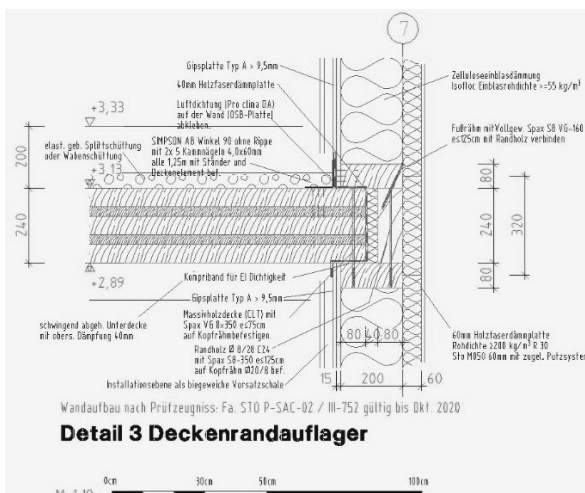


Abbildung 15

9. Ausschreibung

Um Transparenz und Fairness für alle Beteiligten zu erzeugen, müssen alle zu erbringenden Leistungen mit einer Massenangebe und einer entsprechenden Beschreibung definiert werden.

Es gilt Vertrauen zu schaffen, zu einer fairen Bezahlung zu kommen und eine entsprechende Kostensicherheit für den Bauherrn zu erzielen.

Die häufig verbreitete Vorgehensweise z.B. Verbindungsmittel über 3800 kg aus zu schreiben ist einfach aber geht am Ziel vorbei.

Wenn Verbindungsmittel zwischen 80Cent und einigen 100€ kosten, so ist der Einbau der Verbindungsmittel auch noch sehr unterschiedlich und erzeugt verschiedene Kosten. Daher sollten alle Leistungen in klarer Definition ausgeschrieben werden.

Die Nachtragsjägerie bei den Ausschreibungen muss ein Ende haben. So kann eine für jeden transparente und vergleichbare Vergabe erfolgen, es sind keine unnötigen Sicherheiten zu kalkulieren, die Vergabe liegt eng an den tatsächlichen Kosten. Somit kommt Ruhe und Verlässlichkeit in das Baugeschehen.

06.05.2016		Seite 26	
Projekt: NUTH_Zim 3615_Zimmerarbeiten			
Lv: 02 Zimmerarbeiten			
1. Hauptgebäude			
1.5. Verbindungsmittel und Einbauteile			
Pos.Nr.		Einheitspr. €	Gesamtpr. €
1.5.	Titel: Verbindungsmittel und Einbauteile		
1.5.1.	Balkenschuhe Balkenschuhe (z.B. SIMPSON BSI 80/120 o.g.) liefern und einbauen. mit 20 Kammnägeln 4,0*50mm im Haupträger und 10 Kammnägeln 4,0*50mm im Nebenträger.	40,00 St	
1.5.2.	8*80mm Selbstbohrende Teilgewindeschrauben selbstbohrende Teilgewindeschraube mit Senkkopf 8*80 mm, bauaufsichtliche Zulassung, Kraftangriff T-Star, FlieBmoment MYK=20000Nmm (z.B. SPAX S 8*80 o.g.)	228,00 St	
1.5.3.	8*200mm Selbstbohrende Teilgewindeschrauben selbstbohrende Teilgewindeschraube mit Senkkopf 8*200 mm, bauaufsichtliche Zulassung, Kraftangriff T-Star, FlieBmoment MYK=20000Nmm (z.B. SPAX S 8*200 o.g.)	799,00 St	
1.5.4.	8*240mm Selbstbohrende Teilgewindeschrauben selbstbohrende Teilgewindeschraube mit Senkkopf 8*240 mm, bauaufsichtliche Zulassung, Kraftangriff T-Star, FlieBmoment MYK=20000Nmm (z.B. SPAX S 8*240 o.g.)	21,00 St	
1.5.5.	8*300mm Selbstbohrende Teilgewindeschrauben selbstbohrende Teilgewindeschraube mit Senkkopf 8*300 mm, bauaufsichtliche Zulassung, Kraftangriff T-Star, FlieBmoment MYK=20000Nmm (z.B. Würth Assy plus S 8*300 o.g.)	445,00 St	
1.5.6.	8*160mm Selbstbohrende Vollgewindeschrauben Vollgewindeschrauben aus Kaltstaudraht mit bauaufsichtlicher Zulassung zum paarweisen diagonalen Einbau Rmax,ax;K= 22kN (z.B. Würth Assy plus VG 8*160 o.g.)	643,00 St	

Abbildung 16

10. Tragwerksplanung

Daher **planen** wir unsere Gebäude, damit Fehler reduziert werden, Vertrauen geschaffen wird und zügige Bauabläufe, sowie qualitätsvolle Bauwerke erstellt werden können.

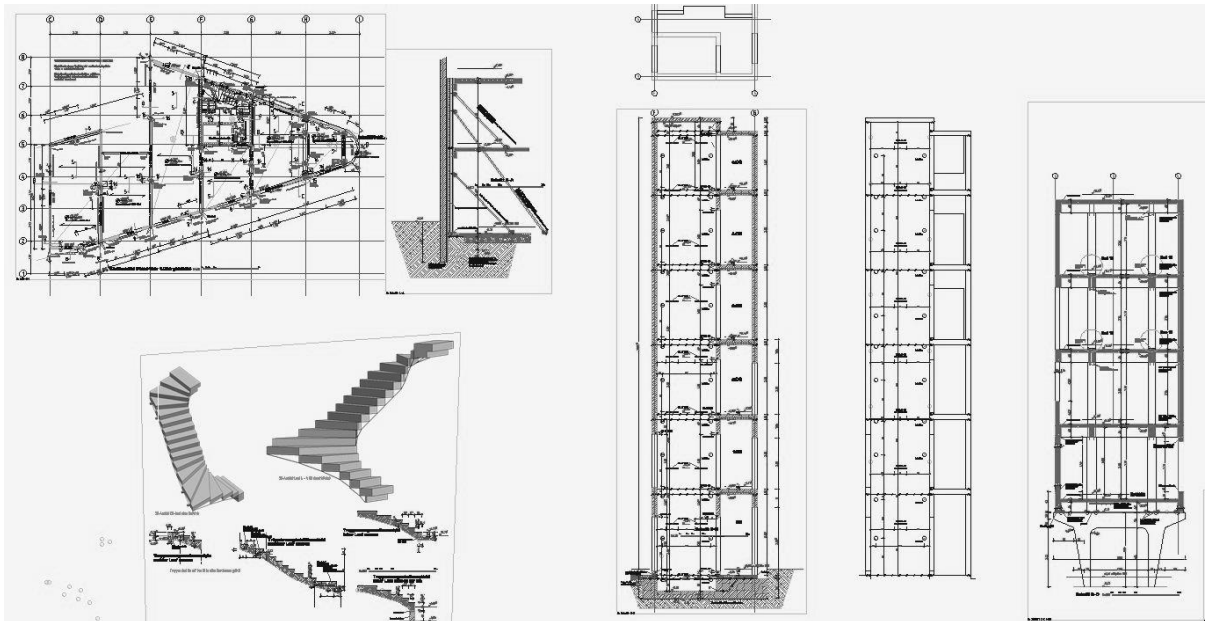


Abbildung 17

Digitaler Bauprozess: Von der Planung bis zur Umsetzung

Max Renggli
Renggli AG
Schötz, Schweiz



Digitaler Bauprozess: Von der Planung bis zur Umsetzung

1. Der digitale Wandel: Wir sind mittendrin

Man liest und hört es ringsum: Der digitale Wandel ist im Gange und wird unser Leben weiter grundlegend verändern. Während die Digitalisierung viele neue Arbeitsplätze schafft und weiter schaffen wird, ist sie für viele auch eine potentielle Gefahr. Klar ist: die Unternehmen sind gefordert ihre Arbeits- und Produktionsprozesse anzupassen, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Die Digitalisierung hat auch bei der Renggli AG bereits umfassend Einzug gehalten: Der Einsatz von digitalen Mitteln und Prozessen in der Planung und Realisation ist heute bereits in unterschiedlicher Anwendungstiefe gelebter Alltag. Und die Prozesse und die Zusammenarbeitsformen werden sich mit der Digitalisierung weiter verändern.

Es ist erst wenige Jahrzehnte her, dass sich der moderne Holzsystembau aus der klassischen Zimmerei heraus zu einer ganz neuen Bauform etabliert hat. Die technische und konstruktive Weiterentwicklung war enorm und hat zu einer Umwälzung in der Branche geführt. Hat die Vorfertigung die «Baustelle in die Produktionshalle des Holzbauers» verlegt, so wird das Bauprojekt nun durch BIM in den virtuellen Raum verlegt. Im Zusammenarbeitsmodell entstehen neue Herausforderungen für die eingebundenen Akteure: in den vergangenen Jahren etablierte Prozesse werden erneut auf den Prüfstand gestellt, es müssen neue Daten abgebildet, IT-technische Infrastrukturen finanziert und auch die Kommunikation untereinander angepasst werden. Dass es zu einer Umwälzung der Branche kommen wird, steht ausser Frage. Offen ist noch, wie schnell dies passieren wird, welche Technologien sich durchsetzen und ob kleinere und mittlere Betriebe diesen Wandlungsprozess antizipieren können.

Die Herkulesaufgabe besteht darin, alle am Bau beteiligten Gewerke und Unternehmen, gemeinsam mit auf diesen Weg zu nehmen. Denn erfolgreiche Vernetzung funktioniert nur unter ebenbürtigen Partnern, die dieser Vernetzung offen gegenüberstehen und bereit sind, ihren Beitrag zu leisten. Grundvoraussetzung dafür sind gemeinsame Datenmodelle für den Datenaustausch. Durch BIM werden sich in der Produktions- und Ressourcenplanung ganz neue Ansätze ergeben müssen, die heute noch niemand vollständig absehen kann.

2. Digitalisierung (be)trifft den Menschen

Wir begegnen in Referaten und Fachartikeln immer wieder eindrucksvollen Umsetzungen, die BIM-basiert realisiert wurden. In diesen wird gezeigt, was heute technisch möglich ist beziehungsweise wäre. Dabei kann das Gefühl aufkommen, dass «man» die Entwicklung zu langsam antizipiert oder gar verschläft. Der stetige und offen geführte Austausch mit anderen Branchenteilnehmer zeigt aber, dass es sich bei diesen Projekten, noch um einzelne Leuchtturmprojekte handelt. Wir sind also alle noch am Anfang der Lernkurve.

BIM, ganzheitlich angewendet, bedeutet nicht einfach bestehende Prozesse zu digitalisieren – es handelt sich um eine fundamentale Transformation. Also um tiefgehende Veränderungen, die auch heutige Unternehmensstrukturen in Frage stellen und neue Berufsbilder hervorbringen wird. Als Holzbauer benötigen wir beispielsweise Ingenieure, die bereits in der Vorprojektphase ihr Wissen in 3D-Modellen abbilden und in und mit diesem Modell die Kommunikation mit den anderen Netzwerkpartner führen können.

Mit Cloud-Lösungen besteht bereits seit Längerem die Möglichkeit, Projekte im virtuellen Raum gemeinsam zu bearbeiten. Und trotzdem ist es in der Praxis oft noch üblich, Dokumente zu kopieren, zu versenden und an verschiedenen Orten in verschiedenen Versionen zu speichern. Mit der BIM-Methode zu arbeiten, bedeutet aber den Ansatz «Single Source of Truth» konsequent anzuwenden – also mit einer zentralen, strukturierten und interdisziplinäre Datenhaltung zu arbeiten.

Der Erfolg von BIM-Projekten hängt letztendlich von den Projektbeteiligten ab. Wenn nicht alle am Projekt beteiligten Parteien die definierte Arbeitsmethode konsequent anwenden, ist die erfolgreiche Umsetzung in Gefahr. Kommt erschwerend hinzu: Die Team-Konstellationen ändern sich oft von Projekt zu Projekt. So gehen Wissen und Erfahrungen immer wieder verloren. Dieses Wissen und die Erfahrungen gilt es also Unternehmensintern wie auch im Netzwerk stetig zu sichern.

3. Fokus auf gegenseitigen Nutzen setzen

Die in der Schweiz gültigen SIA-Phasen (SIA: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein) stammen aus dem Leistungsmodell 95 aus den 1990er Jahren. Die Phasen entsprechen also nicht mehr den heutigen planerischen Möglichkeiten und tragen der Komplexität der heutigen Gebäude nicht genügend Rechnung. Vielschichtige Anforderungen bedingen mehr planerische Kompetenz. Und diese werden durch viele einzelne Spezialisten abgedeckt, die es im Projekt abzustimmen und zu koordinieren gilt. Das ist mitunter eine Erklärung, weshalb die Produktivität der Baubranche in den letzten Jahren nicht mit der wirtschaftlichen Gesamtentwicklung Schritt halten kann: Die verschiedenen Disziplinen blockieren sich teilweise gegenseitig und die Zusammenarbeitsformen lassen innovativen Lösungen zu wenig Raum. Neue Ansätze der kollaborativen Zusammenarbeit, beispielsweise «Integrated Project Delivery (IPD)», geben Anhaltspunkte, wie eine solche neue Zusammenarbeitsform aussehen kann. Zugegeben: Die Herausforderungen und offenen Fragen sind auch in diesem Bereich noch gross. Doch es lohnt sich, neue Wege zu gehen.

Es gilt stets den Fokus zu halten: Unsere Aufgabe ist nicht die Digitalisierung an sich. Unsere Aufgabe ist es, die digitalen Möglichkeiten auszuschöpfen, die einen nachweislichen und klaren Nutzen mit sich bringen. So sollen Entwicklungen Schritt für Schritt zu besseren und effizienteren Lösungen geführt werden.

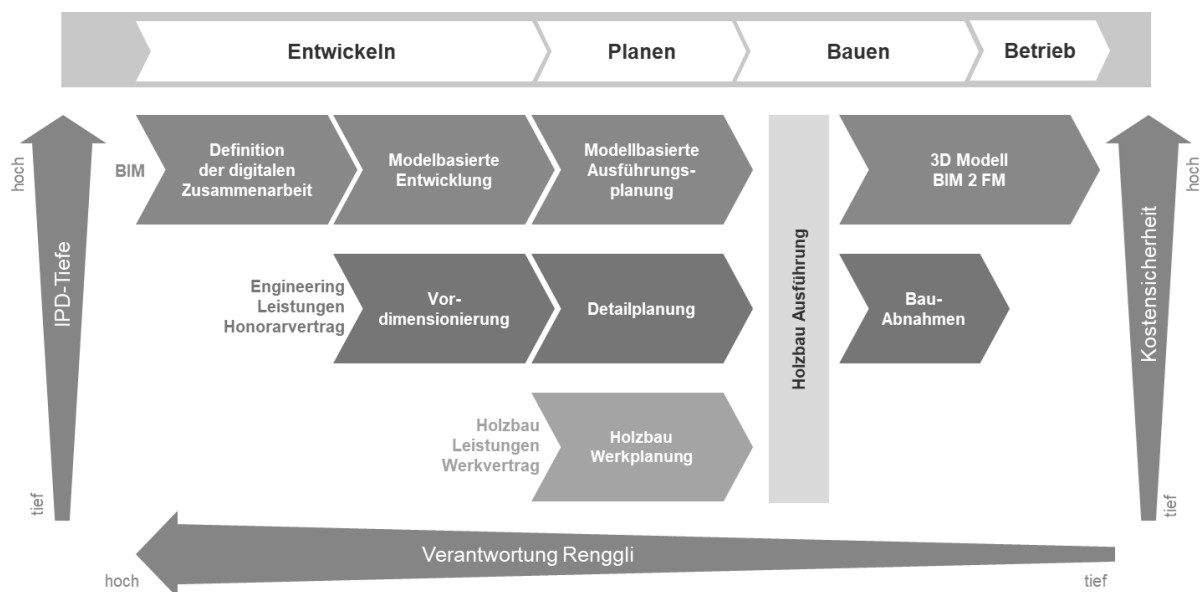


Abbildung 1: Kundennutzen im Fokus: Je früher und tiefer zusammen in BIM entwickelt wird, umso höher Kostensicherheit für den Kunden (eigene Darstellung).

4. Übertriebene Erwartungen?

Aktuell bezahlen wir im Bereich der digitalen Planung und Ausführung noch Lehrgeld. Das Potential, das die durchgängige digitale Realisierung zweifelsohne birgt, kann aufgrund der noch nicht umfassend vorhandenen digitalen Kompetenzen nicht ausgeschöpft werden. So verlaufen die Prozesse noch oft in alten Mustern – anstatt auf digitaler, kollaborativer Zusammenarbeit. Aber: In unserer Branche wurde die letzten Jahre viel Aufbauarbeit geleistet und viele Vorreiter befinden sich – nach «Gartner's Hype Cycle» – bereits auf dem «Pfad der Erleuchtung». Das «Plateau der Produktivität» liegt jedoch noch vor uns.

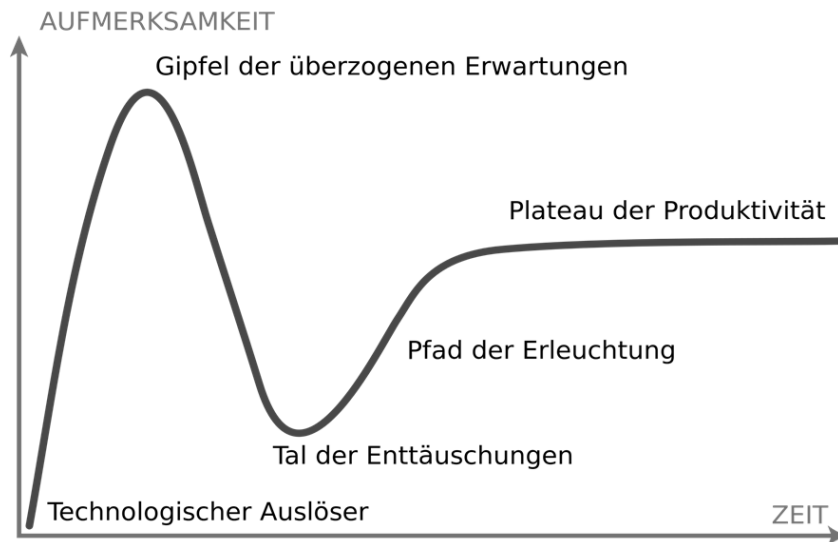


Abbildung 2: Gartner's Hype Cycle ist ein methodologisches Diagramm, das von der weltweit bekannten IT Research and Advisory Firma Gartner entwickelt wurde. Ziel des Hype Cycles ist es, den Hype bzw. die zukünftige Entwicklung einer bestimmten Technologie besser einschätzen zu können. Gemäß dem Gartner Hype Cycles durchläuft jede neue Technologie gewisse Phasen in einer gewissen Reihenfolge).

Damit wir es als Branche auf das Plateau der Produktivität schaffen, muss das Bewusstsein geschärft werden, dass wir uns auf einem Marathon, und nicht auf einem Sprint befinden. Der durchgängige digitale Bauprozess wird nicht mit der Implementierung einer Schlüsselsoftware erreicht. Das Plateau der Produktivität werden wir nur erreichen, wenn alle Mitarbeitenden die technologischen Möglichkeiten auch wirklich kennen, um so festzustellen, welche Prozesse in ihrem Alltag damit vereinfacht werden können. Die digitale Transformation soll also «Top down» initiiert und gesteuert aber von «Bottum up» gestaltet werden. So wird sichergestellt, dass der interne und externe Kundennutzen auch wirklich im Zentrum steht.

Damit die Mitarbeitenden die Möglichkeit der aktiven Prozessgestaltung und -optimierung haben, benötigen sie Freiraum. Ebenso unabdingbar ist eine gesunde Fehlerkultur. Der kontinuierliche Verbesserungsprozess (KVP) und der PDCA-Zyklus sind in unserem Unternehmen deshalb fest verankert und ermöglichen uns stetige Verbesserungen und Weiterentwicklungen.

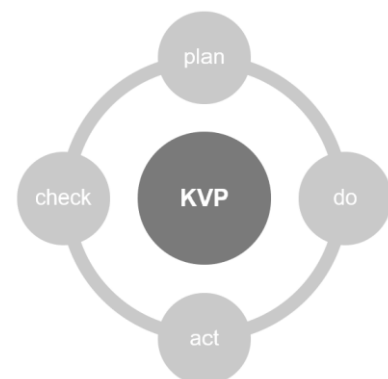


Abbildung 3: KVP-Modell (eigene Darstellung)

5. Und wo steht die Renggli AG?

Wir orientieren uns dem Weg zum Digitalen Bauprozess am Stufenplan von Bauen digital Schweiz.

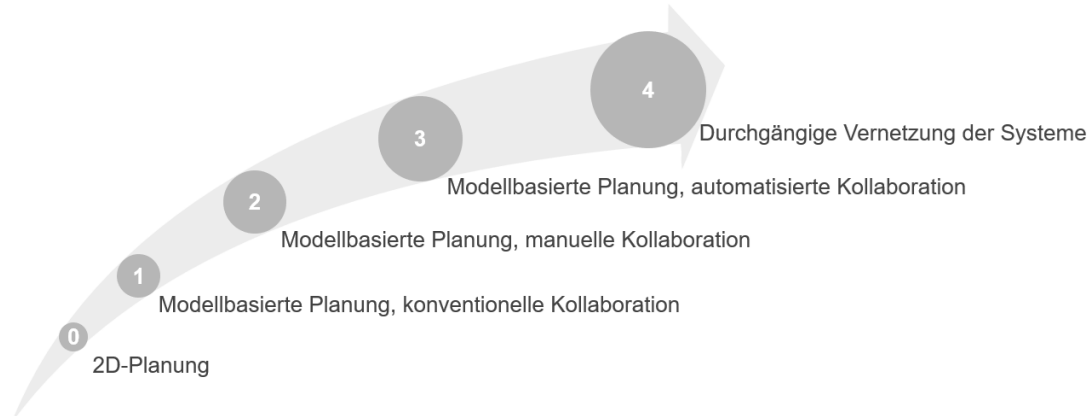


Abbildung 4: Stufenplan der Digitalisierung, angelehnt an «Bauen digital Schweiz»

Anhand einer langfristigen Strategie setzen wir nach und nach einzelne Puzzleteile der Digitalisierung zusammen. Im vierstufigen Entwicklungsmodell, das auf dem Stufenplan von Bauen digital Schweiz basiert, realisieren wir heute Projekte der Stufe 2, selten auch Stufe 3 – also die modellbasierte Planung mit teilweiser automatisierter Kollaboration.

Ein von Grund auf BIM-konzipiertes Projekt ist «Waldacker» in St. Gallen: zwei lange, geknickte, mehrgeschossige Gebäudezeilen mit 110 Wohnungen. Die Basis für die erfolgreiche Zusammenarbeit mit allen involvierten Partnern war ein sorgfältig ausgearbeiteter Projektabwicklungsplan. In diesem wurden die Projektziele definiert, der gesamte Prozess detailliert beschrieben und auch die Definition der technologischen Infrastruktur und des zukünftigen Datenaustauschs festgehalten. Mit der interdisziplinären Zusammenarbeit am gemeinsamen, digitalen und dreidimensionalen Modell konnten Architekten, Fach- und Werkplaner sowie Ingenieure ihre Fachkompetenz optimal einsetzen. Fehler konnten dank Kollisionsprüfungen frühzeitig verhindert werden. Am Ende bedeutet dies, dass wir das Bauprojekt in besserer Qualität übergeben können, die Bewirtschaftung für die Bauherrschaft effizienter und der spätere Rückbau einfacher wird.



Abbildung 5: in BIM realisiertes Projekt «Waldacker» in St. Gallen (CH) mit 110 Wohnungen. Von der Visualisierung, über das Architekturmodell hin zur Fachplanung und Realisation.

6. Über Renggli AG

Die Renggli AG entwickelt und realisiert industriell gefertigte, hochwertige und klimagerechte Gebäude in Element- und Modulbauweise in Schweizer Qualität. Immer mit dem Ziel vor Augen, höchstmöglichen Wohnkomfort mit geringstmöglichem Energieaufwand zu erreichen. In ökologischer Holzbauweise entstehen architektonisch anspruchsvolle Bauvorhaben – vom Einfamilienhaus bis hin zum mehrstöckigen Wohn- oder Geschäftsgebäude – stets qualitätssicher und kosteneffizient. Immer gereu unserer Vision: «Wir bauen für eine lebenswerte Zukunft.»

Block B2
Gesund Bauen

VOC-Anforderungen an Baustoffe und Innenräume – wie passt das zusammen

Dr. Martin Ohlmeyer
Thünen-Institut für Holzforschung
Hamburg, Deutschland



VOC-Anforderungen an Baustoffe und Innenräume – wie passt das zusammen

1. Einführung und Hintergrund

Menschen verbringen 80 bis 90 % ihrer Zeit in Innenräumen. Daher ist die Qualität der Innenraumluft von besonderem Interesse. Das Wohlbefinden beeinflussen neben den klimatischen Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Luftwechselrate und Luftgeschwindigkeit) auch die Konzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC vom englischen Volatile Organic Compounds) im Innenraum. Quellen dieser VOC können unterschiedliche Faktoren sein: Baustoffe, Bodenbeläge, Inneneinrichtungsgegenstände, Möbel, menschliche Aktivitäten (Kochen, Reinigung, Renovierung, Rauchen etc.) oder auch die Aussenluft.

Der aktuelle Fokus liegt auf den Baustoffen, da diese vom Bewohner einer Wohnung / eines Hauses normalerweise nicht beeinflussbar sind. Somit werden diese Materialien besonders im Hinblick ihrer VOC-Abgabe beachtet. Für Holzprodukte ist dies von grundsätzlich hoher Bedeutung, da Holz als organisches Material eine Reihe von Substanzen enthalten kann, die unter Normalbedingungen flüchtig und somit unter gewöhnlichen Nutzungsbedingungen als VOC-Konzentrationen nachweisbar sind – der typische Geruch des Kiefernholzes gehört dazu.

2. Rechtlicher Rahmen

2.1. Innenräume

Für die grösste Anzahl der in der Innenraumluft vorkommenden Substanzen existieren keine gesetzlichen Regelungen – Ausnahmen: Tertrachlorethen (gem. 2. BImSchV) sowie PCB und PCP (gem. den Technischen Baubestimmungen auf Länderebene).

Bezüglich der Innenraumluftqualität existiert in Deutschland ein Konzept zur Bewertung der Innenraumluft, das vom Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) im Bundesgesundheitsblatt veröffentlicht ist. Der AIR berät das Umweltbundesamt (UBA) und publiziert u.a. regelmässig im Rahmen dieses Konzeptes Innenraumluftrichtwerte (RW I und II). Wenn der Kenntnisstand nicht ausreicht, um einen toxikologisch basierten Richtwert abzuleiten, werden hygienisch begründete Leitwerte erarbeitet; diese sind u.a. für TVOC-Konzentrationen in der Innenraumluft veröffentlicht.

Es sind Richtwerte für den Innenraum für Substanzen publiziert, die typisch für Holzprodukte sind: bicyklische Terpene (Leitsubstanz: α -Pinen), monozyklische Terpene (Leitsubstanz: Limonen), Aldehyde und Formaldehyd. Nach diesem Konzept besteht z. B. für die bicyklischen Terpene ab einer Innenraumluftkonzentration von 2 mg/m^3 (RW II) Handlungsbedarf; bei einer Konzentration von $0,2 \text{ mg/m}^3$ (RW I) wird davon ausgegangen, dass bei lebenslanger Exposition keine gesundheitliche Beeinträchtigung besteht.

Diese Werte haben keinen rechtlich bindenden Charakter. Da sie aber als Stand des wissenschaftlichen Kenntnisstandes betrachtet werden, können diese Werte im Streitfall herangezogen und als gerichtsfest angesehen werden. Allerdings finden sich für die bi-zyklischen Terpene im wissenschaftlichen Diskurs auch andere (höhere) Werte, die als hinreichend angesehen werden.

Einen direkten Einfluss auf die Konzentration von VOC in der Innenraumluft hat die Luftwechselrate, die aus hygienischen Gründen zwischen $0,3$ und $0,5 \text{ h}^{-1}$ betragen sollte. Aber auch dieser Wert ist nicht rechtlich bindend, sondern stellt lediglich eine Empfehlung dar.

Die Innenraumluftqualität ist darüber hinaus auch ein Kriterium für die Nachhaltigkeitsbewertung nach dem DGNB-System (Kriterium "Innenraumluftqualität", SOC1.2). Hierbei werden Punkte für das Erreichen von unterschiedlichen VOC- und Formaldehydwerten vergeben und mit den weiteren Kriterien verrechnet.

2.2. Produkte – Europa

In der Europäischen Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) werden sieben wesentliche Anforderungen an Bauwerke gestellt. Darunter zählt auch die hygienische Vorsorge hinsichtlich der Abgabe von toxischen und anderen VOC-Substanzen in den Innenraum. Für die Umsetzung ist vorgesehen, dass diese Eigenschaft von Bauprodukten im Rahmen der CE-Kennzeichnung deklariert wird. In den letzten Jahren ist hierfür eine horizontale Prüfnorm erarbeitet worden, die im Januar 2018 veröffentlicht wurde. In dieser EN 16516 sind die Prüfbedingungen und die Ergebnisdarstellung im Hinblick auf die beabsichtigte Verwendung des Produktes geregelt. Es fehlt für die Umsetzung allerdings noch ein Regelwerk für die Bewertung der Ergebnisse. Dies befindet sich seit einiger Zeit in Diskussion und Abstimmung der EU-Kommission (unter Federführung von DG Grow) und soll als EU-Rechtsverordnung (Delegated Act) umgesetzt werden. Bisher ist lediglich absehbar, dass unterschiedliche Kriterien bewertet werden sollen (CMR-Substanzen, Formaldehyd und VOC-Substanzen) und dass es jeweils mindestens zwei Klassen geben wird, wobei die höhere Klasse immer eine offene Klasse ist. Somit kann damit dann national geregelt werden, inwieweit eine dieser Eigenschaften relevant für den eigenen Markt ist und berücksichtigt werden muss.

Hinweis auf die bisherige Regelung für Formaldehyd: Hier sind in der CE-Norm für Holzwerkstoffe (DIN EN 13986) die beiden Klassen E1 und E2 gegeben, wobei in Deutschland aufgrund der ChemVerbotsV ausschliesslich E1 erlaubt ist – die Ermittlung der Werte wird hier abweichend von der europäischen Regelung nicht auf EN 717-1 sondern auf EN 16516 bezogen.

Wenn diese Rechtsverordnung erlassen wurde, kann im nächsten Schritt über die harmonisierten CE-Normen die Bewertung von VOC für die relevanten Produkte verbindlich europaweit eingeführt werden. Derzeit ist der Stand über den Delegated Act aber offen. Bis zu welchem Zeitpunkt dieser zu erwarten ist, kann nicht abgeschätzt werden.

2.3. Produkte – Deutschland

Bis 2016 wurde durch das DIBt das AgBB-Schema bei der bauaufsichtlichen Zulassung von bestimmten Bauprodukten (Bodenbeläge) in Bezug genommen. Nach der Rechtsprechung des EuGHs, wonach national keine strengeren Regeln als europäisch verankert gelten dürfen, wurde von der weiteren Anwendung dieser Praxis abgesehen.

Aktuell sind die Anforderungen gemäss des AgBB-Schemas unter anderem Bestandteil der MVV TB, Anhang 8, (Ausgabe August 2020) und sollen u. a. für folgende Produkte angewendet werden:

- Bodenbeläge und -konstruktionen
 - Parkette und Holzfussböden
 - Sportböden
- Klebstoffe
- Holzwerkstoffe in Form von schlanke ausgerichteten Spänen (OSB) und
- kunstharzgebundenen Spanplatten
- dekorative Hochdruck-Schichtpressstoffplatten (HPL)
- nachträglich aufgebrachte organische Feuerschutzmittel.

Im Rahmen der Bewertung nach AgBB werden unterschiedliche Kriterien (VOC, R-Wert, SVOC, CMR) geprüft. Entscheidender Unterschied zum europäischen Ansatz ist aber, dass nach dieser Bewertung ein Produkt marktfähig ist oder nicht – eine Abstufung oder Klassifizierung gibt es nicht.

Um eine hinreichend genaue Reproduzierbarkeit und damit die Belastbarkeit der Messergebnisse zu gewährleisten, sind produktspezifische Anforderungen für die Prüfung gemäss EN 16516 erforderlich, da diese Prüfmethode für alle Baustoffe mit unterschiedlichen Besonderheiten angewendet werden soll. Diese Anforderungen sollen im Rahmen der CE-Kennzeichnung von den CEN-Produkt TCs erarbeitet und festgelegt werden. Im Kontext

der MVV TB sind vom DIBt «Hinweise zur Durchführung von Emissionsmessungen flüchtiger organischer Verbindungen für Holzwerkstoffe in Form von schlanken ausgerichteten Spänen (OSB) und kunstharzgebundene Spanplatten auf Grundlage der DIN EN 16516:2020» (Stand: Februar 2021) öffentlich kommuniziert.

Aufgrund von Gerichtsurteilen ist u. a. in den Bundesländern Baden-Württemberg, Thüringen und Bremen ist die Anwendung des Anhang 8 für OSB und Spanplatten aktuell untersagt bzw. ausgesetzt.

Darüber hinaus existieren eine Reihe von Labels (z. B. Blauer Engel, Natureplus), die nach privatwirtschaftlichen Regeln vergeben und zu Marketingzwecken verwendet werden.

3. Was ist über Holz bekannt?

Holz ist ein organischer Werkstoff, der – wie nahezu alle organischen Materialien – flüchtige organische Verbindungen (VOC) emittiert. Typische Substanzen sind hierbei (a) Primäremissionen, die im Holz frei vorliegen (z. B. Terpene, die für den charakteristischen Geruch verschiedener Nadelhölzer verantwortlich sind) oder (b) Sekundäremissionen, die beispielsweise aus der Gerüstsubstanz als Reaktionsprodukte entstehen können (z. B. organische Säuren aus Laubhölzern). Auch Formaldehyd wird in sehr geringen Mengen von Holz (i. d. R. um und bis zu $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) emittiert.

Hölzer mit einem hohen Gehalt an flüchtigen Inhaltsstoffen emittieren somit auch die grössten Mengen an VOC: Hierunter fallen die Nadelhölzer und hierbei wiederum insbesondere die Kiefer (*Pinus sylvestris*); die nennenswertesten Substanzen sind Terpene (hauptsächlich α -Pinen), Aldehyde und organische Säuren. Von der Fichte (*Picea abies*) werden nahezu die gleichen Substanzen emittiert, allerdings meist in geringen Mengen. Die wichtigsten Laubhölzer, wie Buche (*Fagus sylvatica*), Birke (*Betulus*) und Eiche (*Quercus*), emittieren fast ausschliesslich organische Säuren (vornehmlich Essigsäure) in bedeutender Konzentration.

Die gemessenen Grössenordnungen von VOC können stark (bis zu einer Grössenordnung) variieren, da sie von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden:

- Extraktstoffgehalt, der wiederum von Genetik, Standortbedingungen und Kalamitäten beeinflusst sein kann
- Kern- und Splintholz-Anteil
- Verarbeitungsbedingungen: Temperatur, Materialfeuchte, pH-Wert, Zerkleinerungsgrad etc.

Daher lassen sich aus Holzwerkstoffen meist dieselben Substanzen im VOC-Spektrum wiederfinden, wie sie auch aus den Hölzern nachgewiesen werden, aus denen die Holzwerkstoffe hergestellt wurden – allerdings i. d. R. in anderer Grössenordnung und Zusammensetzung.

4. Was ist für den Holzbau relevant?

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens (HoInRaLu, FNR-Förderkennzeichen: 2200851) am Thünen-Institut für Holzforschung wurden wissenschaftlich belastbare Kriterien für die Bewertung der Abgabe von flüchtigen organischen Verbindungen von Holz-Bauprodukten unter Berücksichtigung von realistischen Einbaubedingungen untersucht. Ziel war eine Bewertung der Produkte im Hinblick auf ihre beabsichtigte Verwendung in unterschiedlichen Bauteilen zu ermöglichen, bei der auch unterschiedliche Einflussfaktoren einer realistischen Einbausituation betrachtet werden.

Dazu wurden vier Modellhäuser mit unterschiedlichen Wandkonstruktionen und Materialkombinationen gefertigt und auf dem Gelände des Thünen-Instituts aufgestellt. Die Baumaterialien, die zur Errichtung der Modellhäuser verwendet wurden, wurden normgerecht in Emissionskammern hinsichtlich ihrer VOC-Abgabe geprüft. Diese Ergebnisse wurden mit der Raumluftkonzentration der Modellhäuser verglichen.

Um eine Aussage über zu erwartende langfristige Raumluftkonzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen und deren Abhängigkeit von den jahreszeitlichen Temperatur- und Luftfeuchteänderungen zu erhalten, wurden die Modellhäuser über einen Zeitraum von 114 Wochen regelmässig beprobt.

In der Raumluft der Modellhäuser wurden vorrangig Aldehyde und Terpene, und damit VOC, die die Holzmaterialien emittierten, gemessen. Zu Beginn der Messungen nahmen die Konzentrationen aller VOC ab. In den Frühlings- und Sommermonaten stiegen die Konzentrationen wieder an, sanken dann wiederum im darauffolgenden Herbst und Winter. Die Ausgangskonzentrationen wurden während des gesamten Verlaufs nicht wieder erreicht. Es wird somit erkennbar, dass die Konzentrationen in den Modellhäusern dem Grunde nach abnahmen, wie dies auch bei den Produktprüfungen über einen Zeitraum von 28 Tagen und länger zu beobachten ist. Allerdings wird diese Konzentrationsabnahme von den Aussen- und Innentemperaturen überlagert.

Grundsätzlich hatte auch der Luftwechsel einen Einfluss auf die Raumluftkonzentration der Modellhäuser, der im Bereich zwischen 0 h^{-1} und $0,5 \text{ h}^{-1}$ deutlicher war als zwischen $0,5 \text{ h}^{-1}$ und 1 h^{-1} .

Der Vergleich der unterschiedlichen Modellhäuser zeigt, dass dem Grunde nach höhere Raumluftkonzentrationen gemessen werden, wenn Produkte mit höherem Emissionspotenzial eingesetzt werden. Es wurden unterschiedliche Ansätze zur Ableitung der mittleren Raumluftkonzentration aus den einzelnen Baustoffen betrachtet: Das Aufsummieren aller Wandmaterialien mit $q = 0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ führte zu einer deutlichen Überschätzung der Raumluftkonzentration. Eine Ableitung der mittleren Raumluftkonzentration aus den Baustoffemissionen scheint für alle VOC unter Annahme eines gleichen Beladungsszenarios hinsichtlich der beabsichtigten Verwendung nicht möglich.

Diese Projektergebnisse zeigen, dass produktspezifische Anpassungen der Bauproduktprüfung und -bewertung unter Berücksichtigung der beabsichtigten Verwendung umgesetzt werden sollten: Einzelne Substanzen bzw. Stoffgruppen sollten grundsätzlich differenziert betrachtet werden. Eine Bewertung der Produktemissionen anhand eines Summenwertes reflektiert die festgestellten Zusammenhänge zur Raumluftkonzentration nicht hinreichend und sollte daher für holzbasierte Materialien regulatorisch nicht angewendet werden.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass der Einfluss der Aussentemperaturen auf die Raumluftkonzentrationen sehr gross ist. Dies wurde hier an verschiedenen Modellhäusern in Holzbauweise festgestellt. Es darf aber angenommen werden, dass dies auch für andere Bauweisen und -systeme zutrifft. Daher ist aus bauphysikalischer Perspektive zielführend dem (sommerlichen) Wärmeschutz im Hinblick auf die Raumluftqualität mehr Bedeutung beizumessen. Denn es erscheint offensichtlich, dass die Aussentemperatur einen so erheblichen Einfluss auf die Konzentrationen in Gebäuden hat, dass diese bei langfristiger Gebäudenutzung dem Einfluss der eingesetzten Baustoffe überwiegt.

5. Weiterführende Literatur

Das Thünen-Institut für Holzforschung hat in diesem Kontext eine Reihe von Studien durchgeführt, deren Ergebnisse in Berichten veröffentlicht sind und auf der Website www.thuenen.de zum Download frei verfügbar sind:

Butter K, Ohlmeyer M (2021) *Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen von Holz und Holzwerkstoffen*. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 102p, Thünen Rep 86, DOI:10.3220/REP1622449526000

Download:

https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_86.pdf

Ohlmeyer M, Mennicke F, Poth S (2020) *Erarbeiten eines objektiven Verfahrens unter Berücksichtigung der Besonderheiten von Holz und Holzwerkstoffen bei der Bewertung ihres Einflusses auf die Innenraumluftqualität (HoInRaLu), TV 1: Untersuchungen unter realen Raumluftbedingungen*. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 146 p, Thünen Rep 81, DOI:10.3220/REP1598858077000

Download:

https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_81.pdf

Mennicke F, Ohlmeyer M, Steckel V, Hasener J, Borowka J, Hasch J (2019) *Entwicklung einer Prüfmethode für die schnelle Bestimmung von VOC aus Holzprodukten zur frühzeitigen Ableitung des langfristigen Emissionsverhaltens und Qualitätskontrolle bei der Herstellung von Holzwerkstoffen*. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 108 p, Thünen Rep 72, DOI: 10.3220/REP1568967391000

Download:

https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_72.pdf

6. Glossar

AgBB	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten
AIR	Ausschuss für Innenraumrichtwerte
BImSchV	Bundesimmissionschutzverordnung
CE	Kennzeichnung gemäss europäischen Harmonisierungsrechtsvorschriften, EU-Verordnung 765/2008
CEN	Comité Européen de Normalisation, siehe Europäisches Komitee für Normung
ChemVerbotsV	Chemikalienverbotsverordnung
CMR	Carcinogenic, Mutagenic and toxic to Reproduction substances, dt. krebs-erzeugende, mutagene und reproduktionstoxische Stoffe
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsche Institut für Normung e. V.
DG Grow	Directorate General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, dt. Generaldirektionen der Europäischen Kommission für Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.
EU-BauPoV	EU-Bauproduktenverordnung, Verordnung (EU) Nr. 305/2011
EuGH	Europäischer Gerichtshof
EN	Europäischen Norm
MVV TB	Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCP	Pentachlorphenol
RW	Richtwert gem. Richtwertkonzept
R-Wert	Risiko-Wert gem. AgBB
SVOC	Semi Volatile Organic Compounds, dt. schwerflüchtige organische Verbindungen
TC	CEN Technical Committee, dt. Technisches Komitee des CEN
UBA	Umweltbundesamt
VOC	Volatile Organic Compounds, dt. flüchtige organische Verbindungen
VVOC	Very Volatile Organic Compounds, dt. leichtflüchtige organische Verbindungen

Wohnungslüftung mit kombinierten Systemen

Harald Krause
Technische Hochschule Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Wohnungslüftung mit kombinierten Systemen

Markus Wirnsberger, Dominik Aimer, Harald Krause
Technische Hochschule Rosenheim

1. Einleitung

Die DIN 1946 Teil 6: «Lüftung von Wohnungen» wurde 2019 novelliert [2]. Konnte nach der bisherigen Norm für eine Nutzungseinheit nur eine Art von Lüftungssystem verwendet werden, ist in der Neuauflage nun auch die Überlagerung unterschiedlicher Lüftungssysteme in einer Nutzungseinheit zulässig. Bisher stehen hierfür allerdings keine Auslegungsgrundlagen zur Verfügung. Die Lüftungssysteme können nach Norm ausgelegt werden, jedoch werden hierbei die Wechselwirkungen zwischen den Systemen nicht berücksichtigt.

Solche Auslegungsgrundlagen wurden im Forschungsprojekt AirCosim [1] erarbeitet. Da die Effektivität und die Akzeptanz von Wohnungslüftungssystemen von vielen Faktoren abhängig sind, wurden neben den lüftungstechnischen Leistungskriterien, wie Luftqualität und Lüftungswärmeverluste, auch noch weitere Aspekte betrachtet. Für die Bewertung der Lüftungskonzepte wurde sowohl eine Analyse der Gesamtkosten für einen Zeitraum von 30 Jahren als auch eine Bewertung der thermischen Behaglichkeit durchgeführt. In einer Nutzerakzeptanzstudie wurden die Akzeptanz der Nutzer von unterschiedlichen Lüftungssystemen, als auch das allgemein verfügbare Wissen über Wohnungslüftung ermittelt.

Für die Untersuchung der Lüftungseigenschaften und der Wechselwirkungen der unterschiedlichen Lüftungssysteme untereinander wurden sowohl ein Multizonen-, als auch ein zonales Simulationsmodell mithilfe von Messergebnissen validiert. Diese Messungen wurden in der Forschungswohnung an der Technischen Hochschule Rosenheim durchgeführt. Mit den Simulationsmodellen wurde mit einer Jahressimulation das Verhalten der Lüftungssysteme für drei verschiedene Grundrisse ermittelt und mit zuvor festgelegten Kriterien das Lüftungsverhalten bzgl. Luftqualität und Energieeffizienz bewertet. Es konnten so Dimensionierungsempfehlungen für überlagerte Lüftungskonzepte erarbeitet werden. Zusätzlich wurden die in Deutschland üblicherweise verwendeten Lüftungskonzepte anhand von weiteren Kriterien bewertet.

1.1. Lüftungssysteme nach DIN 1946-6

Lüftungssysteme für Wohnungen dienen zur Sicherstellung des Feuchteschutzes, aber auch zur Gewährleistung einer guten Luftqualität für die Bewohner. Im Hinblick auf den Feuchteschutz soll verhindert werden, dass durch einen zu geringen Luftaustausch, die Luftfeuchte im Gebäude kritische Werte überschreitet und so zur Beeinträchtigung der Gesundheit von Bewohnern und zu Schäden an Gebäuden führen kann. Ein zu geringer Luftwechsel kann unterschiedliche Ursachen haben. Grundsätzlich werden Gebäude jedoch immer dichter gebaut, um den unkontrollierten Luftaustausch zwischen Gebäude und Umgebung zu verringern und Feuchteschäden in Bauteilen zu vermeiden. Um Feuchteschäden zu verhindern, muss deshalb ein nutzerunabhängiger Mindestluftwechsel gewährleistet sein. Wird dieser Mindestluftwechsel nicht durch Infiltrationsvolumenströme abgedeckt, muss der Luftwechsel über eine lüftungstechnische Maßnahme sichergestellt werden. Die Dimensionierung der Maßnahme erfolgt nach DIN 1946-6:2019 [2]. In der DIN 1946-6:2019 [2] werden verschiedene Typen von Lüftungssystemen aufgeführt (Abbildung 1). Es wird zwischen zwei Hauptgruppen «Freie Lüftung» und «Ventilatorgestützte Lüftung» unterschieden. Dies werden wiederum in Untergruppen unterteilt. Bei der ventilatorgestützten Lüftung wird zwischen den folgenden Typen «Abluftsystem», «Zuluftsystem» und «Zu-/Abluftsystem» differenziert.

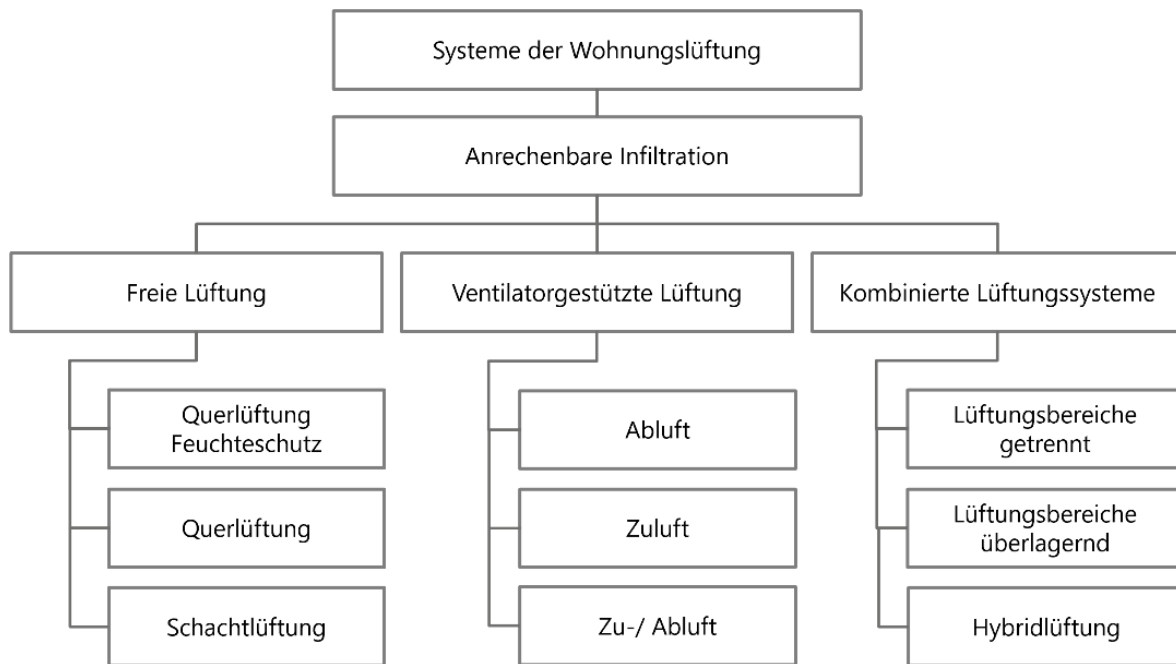


Abbildung 1: Systeme der Wohnungslüftung nach DIN1946-6:2019 [1] (eigene Darstellung)

Nach aktueller Norm können nun auch mehrerer Lüftungssysteme innerhalb einer Wohneinheit kombiniert werden. Dies bietet neue Möglichkeiten bei der Be- und Entlüftung von Räumen. Bspw. können Einzelraumlüftungsgeräte (Zu- und Abluftsystem) in den Aufenthaltsräumen (Wohnzimmer, Schlafzimmer) mit Abluftventilatoren in den Ablufträumen (Bad, Küche) kombiniert werden. Bisher stehen noch keine Planungs- und Entscheidungsgrundlagen für Planer und Bauherren für kombinierte Lüftungssysteme zur Verfügung.

Eine korrekte Dimensionierung der Luftvolumenströme und somit der Anlagenbestandteile hat einen entscheidenden Einfluss auf die Investitions- und Betriebskosten von Wohnungslüftungsanlagen. Um die Akzeptanz und somit die Verbreitung von Wohnungslüftungsanlagen zu fördern, ist es von Interesse, diese Kosten möglichst gering zu halten.

2. Untersuchungen im Projekt

2.1. Wohnungsgrundrisse

Um allgemeine Schlussfolgerungen treffen und die Ergebnisse auf in Deutschland übliche Wohnsituation im mehrgeschossigen Wohnbau übertragen zu können, wurde jeweils ein Grundriss für einen Ein-, Zwei-, und einen Drei-Personen-Haushalt gewählt. Die Grundrisse für den Ein- und den Drei-Personen-Haushalt entsprechen den in der DIN 1946-6:2019 Beiblatt 1 [3] für die Beispielrechnungen verwendeten Grundrisse. Für den Zwei-Personen-Haushalt wurde der Grundriss der Forschungswohnung der Technischen Hochschule Rosenheim verwendet. Die Grundrisse sind in Abbildung 2 dargestellt.



Abbildung 2: Untersuchte Wohnungsgrundrisse (nicht maßstabsgetreu). Rechts oben ist die Forschungswohnung an der TH Rosenheim dargestellt.

2.2. Untersuchte Systeme

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden die Lüftungseigenschaften unterschiedlicher Wohnungslüftungssysteme untersucht. In der DIN 1946-6:2019 [2] ist festgelegt, dass die Volumenströme für die Belüftung von innenliegenden Bädern und Toilettenräumen ohne Fenster nach DIN 18017-3:2020 [4] auszulegen sind. Diese Auslegung kann auch für entsprechende Küchen angewandt werden. Das Studentenapartment ist von den verwendeten Grundrissen der einzige mit innenliegendem Bad. Deshalb wurde für das Studentenapartment eine Fallunterscheidung zwischen Auslegung mit Berücksichtigung und ohne Berücksichtigung der DIN 18017-3:2020 [4] vorgenommen. Es ist hier anzumerken, dass bei der Zwei- und Drei-Zimmer-Wohnung die Volumenströme bei Auslegung nach DIN 18017-3:2020 [4] (bei konstantem Betrieb und DIN 1946-6:2019 [2]) identisch sind. Daher wurde hier auf eine Fallunterscheidung verzichtet.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der im Projekt untersuchten Lüftungssysteme. Die Volumenströme wurden nach DIN 1946-6:2019 [2], bzw. nach DIN 18017-3:2020 [4], ausgelegt. Eine detaillierte Erklärung sowie die Auslegung der Systeme findet man im Forschungsbericht [1].

Tabelle 1: Untersuchte Lüftungssysteme

	Bezeichnung Lüftungssystem	Kombination von
1	Zentrales Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung	Keine
2	Zentrales Lüftungssystem mit WRG und aktiven Überströmern	Semi-Zentrales-Lüftungsgerät + Aktive Überströmer
3	Rekuperative Einzelraumlüftungsgeräte	Keine
4	Rekuperative Einzelraumlüftungsgeräte in den Zulufräumen, Abluftventilatoren in den Ablufträumen (Betrieb nach DIN1946-6)	Rekuperative ERLG + Abluftventilatoren
5a	Regenerative Einzelraumlüftungsgeräte in den Zulufräumen, Abluftventilatoren in den Ablufträumen (Betrieb nach DIN1946-6)	Regenerative ERLG + Abluftventilatoren
5b	Regenerative Einzelraumlüftungsgeräte in den Zulufräumen, Abluftventilatoren in den Ablufträumen (Betrieb nach DIN18017-3)	Regenerative ERLG + Abluftventilatoren
6	Regenerative Einzelraumlüftungsgeräte in den Zulufräumen, Rekuperative Einzelraumlüftungsgeräte in den Ablufträumen	Regenerative ERLG + Rekuperative ERLG
7	Abluftanlage nach DIN1946-6	Keine
8a	Abluftanlage nach DIN18017-3 in Bad und Küche (Reduzierter Betrieb)	Keine
8b	Abluftanlage nach DIN18017-3 in Bad und Küche (Anwesenheitsgeführt)	Keine
9	Rekuperative Einzelraumlüftungsgeräte (Auslegung reduzierter Betrieb) + idealisierte Fensterlüftung	Dezentrale Lüftungsgeräte + Freie Lüftung

Regenerative ERLG: Einzelraumlüftungsgeräte mit regenerativen Wärmespeichern (Pendellüfter)

Rekuperative ERLG: Einzelraumlüftungsgeräte mit Luft-Luft Wärmeübertrager

Aktive Überströmer: Ventilator betriebener Überströmer zwischen zwei Räumen, z.B. Schlafzimmer und Flur

Exemplarisch ist das System 1, welches als Referenzsystem für alle mit Wärmerückgewinnung dient, in der Umsetzung für die Zwei-Zimmer-Wohnung in dargestellt.

In Tabelle 2 findet man die dazugehörigen Volumenströme.

Tabelle 2: Ermittlung der raumweisen Volumenströme für Nennlüftung nach DIN 1946-6:2019 [1] für das Lüftungssystem: zentrales Lüftungssystem

		Volumenstrom in m ³ /h			
		Studentena. mit DIN 18017-3	Studentena. ohne DIN 18017-3	Zwei-Zimmer- Wohnung	Drei-Zimmer- Wohnung
Ab- luft	Bad	40	27,5	40	40
	Küche	27,5	27,5	40	40
Zuluft	Schlafzimmer	67,5	55	40	28,5
	Wohnzimmer	-	-	40	28,5
	Kinderzimmer	-	-	-	23

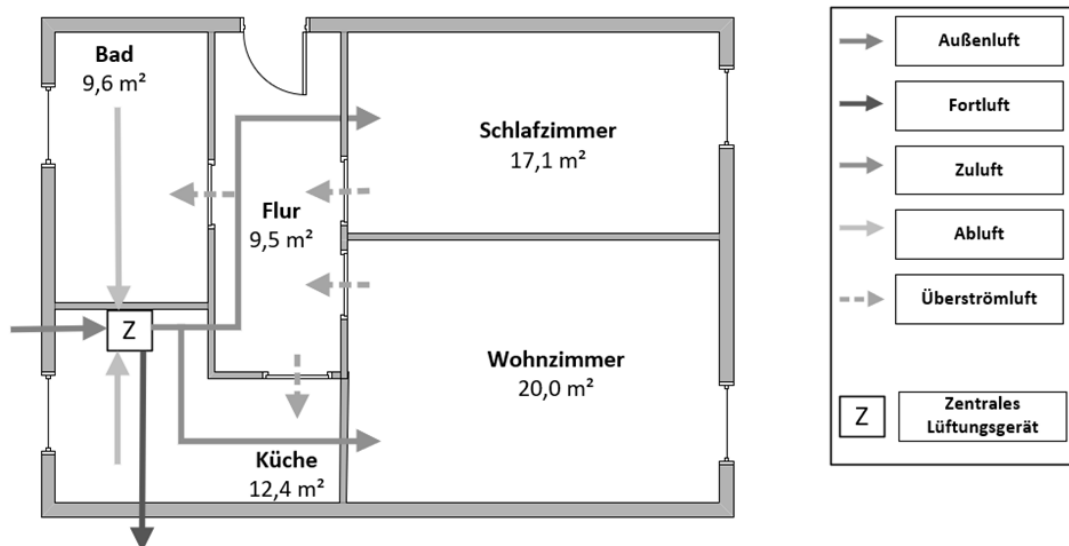


Abbildung 3: Grundriss Zwei-Zimmer-Wohnung, Schematische Darstellung zentrales Lüftungssystem

2.3. Durchgeführte Untersuchungen

Es wurden sowohl messtechnische als auch Untersuchungen mittels Simulationen durchgeführt. Das vom Fraunhofer IBP entwickelte Indoor Environment Simulation Suite (IESS), welches auf einem zonalen Simulationsmodell, dem VELOCITY Propagating ZONal-Modell (VEPZO Modell), basiert [5] wurde anhand von Messergebnissen in der Forschungswohnung validiert. Dazu wird auf den Forschungsbericht verwiesen [5].

Ganzjahressimulationen wurden mit CONTAM [6] durchgeführt. Das Modell hierzu wurde vorab anhand der Messungen validiert.

In der Forschungswohnungen wurden für die jeweiligen Lüftungssysteme folgende Messungen durchgeführt:

- Ermittlung der raumweisen und lokalen Luftwechselraten unter stationären Bedingungen mit dem Indikatorgasverfahren nach DIN EN ISO 12569 .
- Simulation von realen Nutzungsprofilen durch Einbringen von Feuchte und CO₂ nach definierten Tagesprofilen.
- Messungen zur thermischen Behaglichkeit in einzelnen Räumen. Dazu wurde die Außenluft mittels vorgesetzter Klimaschalen auf bis zu -10°C konditioniert.

Die Messungen wurden jeweils mit konstanten Volumenströmen durchgeführt. Eine bedarfsgeführte Lüftung auf Basis der Luftqualität wurde in den Jahressimulationen zum Teil berücksichtigt.

3. Ergebnisse

3.1. Bewertungsgrößen

Alle Systeme wurden nach verschiedenen Kriterien bewertet, um einen praxisgerechten Vergleich zu ermöglichen. Das sind im Einzelnen:

- Raumweise Feuchteüberstunden über 50% r.F.
- Raumweise CO₂-Über(ppm)stunden über 1000ppm zur Bewertung der Luftqualität¹.

1

$$E_{\text{CO}_2 > 1000} = \int (C_{\text{CO}_2 > 1000}(t) - 1000) dt$$

$E_{\text{CO}_2 > 1000}$	CO ₂ -Über(ppm)stunden	in	ppm*h
$C_{\text{CO}_2 > 1000}(t)$	CO ₂ -Konzentration im Raum über 1000 ppm	in	ppm
t	Zeit	in	h

- Lüftungswärmeverluste: vereinfachend wurde für alle Systeme mit Wärmerückgewinnung der gleiche Wärmebereitstellungsgrad angesetzt
- Elektrischer Energiebedarf: Jahreswerte wurden anhand der Herstellerspezifikationen ermittelt
- Effizienz des Lüftungssystems: Dabei wurden Luftqualität, Raumluftfeuchte und Energieeffizienz relativ zum Referenzsystem bewertet
- Thermische Behaglichkeit: PMV, PPD und DR wurden nach ISO 7730 [7] messtechnisch ermittelt.
- Vergleiche der Wirtschaftlichkeit mit Annuitätenmethode nach VDI 2067 [8]

3.2. Ergebnisse

Exemplarisch werden die Ergebnisse der Varianten für die Zwei-Zimmer-Wohnung in Abbildung 4 dargestellt und diskutiert. Als Referenzsystem wird wie bereits erwähnt eine wohnungszentrale Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (im Folgenden als System 1 bezeichnet) verwendet.

Zusätzlich zu den in Tabelle 1 aufgezählten Systemen wurden noch Varianten zu den Systemen mit angepassten Volumenströmen aufgenommen.

System 2 – Aktive Überströmer

Der Volumenstrom der aktiven Überströmer wurde äquivalent eines Lüftungssystems ausgelegt, bei dem die Zuluft Außenluftqualität entspricht. Da die aktiven Überströmer jedoch keine Außenluft, sondern Mischluft fördern sind die CO₂-Über(ppm)stunden entsprechend hoch. Um dem entgegenzuwirken wurde der Volumenstrom der aktiven Überströmer um 30 % erhöht. Hierdurch verringern sich die CO₂-Über(ppm)stunden von 203 % auf 111 % über den des zentralen Lüftungssystems. Auch die Feuchteüberstunden sinken von 14 % auf 9 % über den Feuchteüberstunden von System 1. Die elektrische Leistungsaufnahme erhöht sich dabei nur gering.

Eine Erhöhung des Volumenstroms der aktiven Überströmer erhöht die Luftqualität. Gleichzeitig ist die zusätzlich Stromaufnahme gering. Eine Erhöhung ist daher empfehlenswert. Weitere Ergebnisse zu diesem System findet man unter [9].

System 3 – Einzelraumlüftungsgerät

Die Luftqualität (bewertet anhand CO₂-Über(ppm)stunden und Feuchteüberstunden) ist ohne Anpassung besser als bei dem zentralen Lüftungssystem (geringere CO₂-Über(ppm)stunden und Feuchteüberstunden). Durch eine Reduktion des Volumenstroms der Einzelraumlüftungsgeräte um 10% entsprechen die CO₂-Über(ppm)stunden denen des zentralen Lüftungsgeräts, die Feuchteüberstunden sind immer noch 11% geringer. Jedoch konnten die Lüftungswärmeverluste um 20% gesenkt werden. Diese sind dann um 72% höher als beim zentralen Lüftungsgerät. Die annuitätischen Kosten sind um 38% geringer als beim System 1. Bei einer Reduktion des Volumenstroms um 20% oder mehr wird die Luftqualität schlechter als beim zentralen System.

Eine Reduktion des Volumenstroms um 10% ist ohne Verschlechterung der Luftqualität (im Vergleich zum zentralen Lüftungssystem) möglich, jedoch sinken hierdurch die Lüftungswärmeverluste sowie die annuitätischen Ausgaben. Eine Reduktion um 10% gegenüber den Normwerten kann daher empfohlen werden.

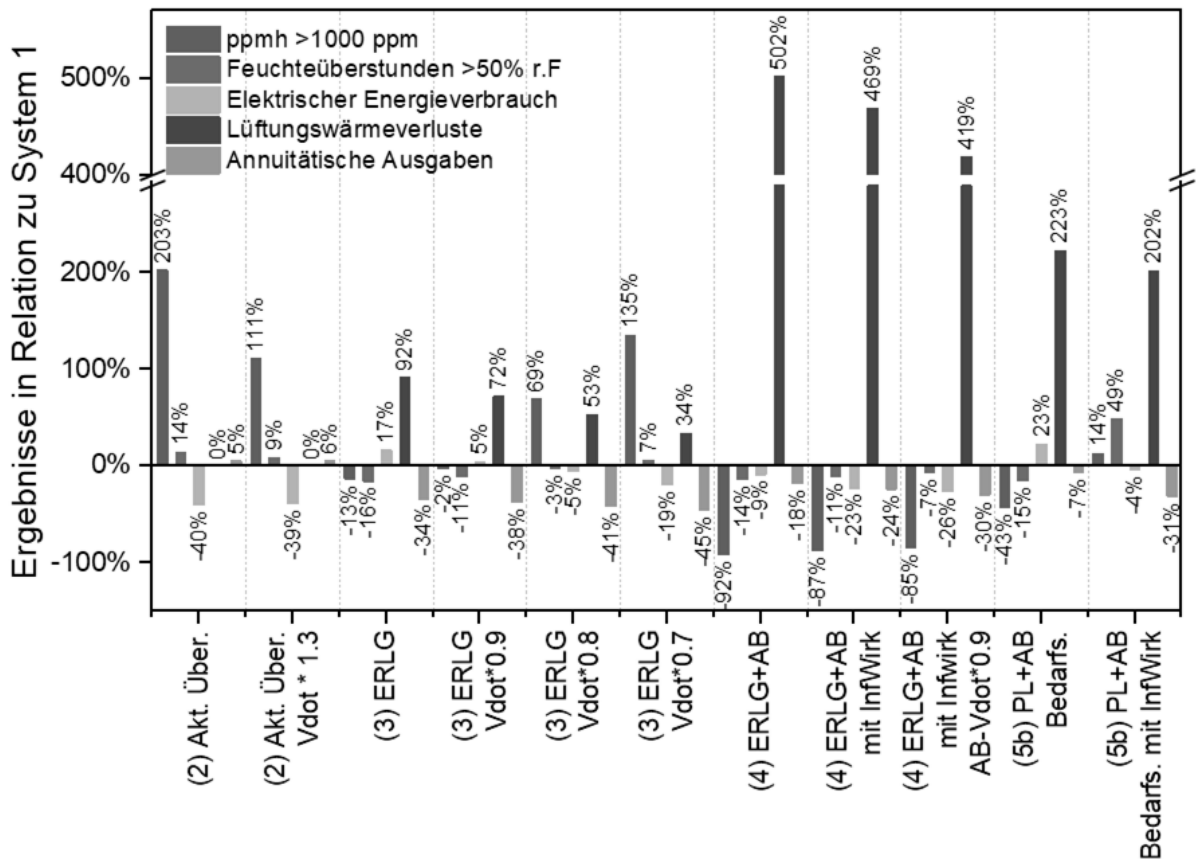


Abbildung 4: Zusammenfassung der Ergebnisse der Varianten für die Zwei-Zimmer-Wohnung

System 4 – Einzelraumlüftungsgeräte in Kombination mit Abluftventilatoren in den Ablufträumen

Ohne die Anrechnung des wirksamen Infiltrationsvolumenstroms ist die Luftqualität bei System 4 besser als bei System 1. Die Lüftungswärmeverluste sind ohne Anpassung 502% höher als beim zentralen Lüftungssystem. Durch Anrechnung des wirksamen Infiltrationsvolumenstroms und der Reduktion des Volumenstroms der Abluftventilatoren um 10% sinken die Lüftungswärmeverluste auf 419% über denen von System 1. Die CO₂-Über(ppm)stunden liegen dann noch bei unter 85% des zentralen Lüftungssystems. Die Feuchteüberstunden haben zugenommen auf 7% weniger als beim Referenzsystem.

System 5b – Regenerative Einzelraumlüftungsgeräte in Kombination mit Abluftventilatoren in den Ablufträumen, Bedarfsführung nach DIN18017-3

System 5b erreicht eine bessere Luftqualität als das Referenzsystem. Aufgrund der fehlenden Wärmerückgewinnung im Bad sind die Lüftungswärmeverluste höher. Bei der Anpassung wurde nun der wirksame Infiltrationsvolumenstrom bei der Auslegung der Einzelraumlüftungsgeräte berücksichtigt. Hierdurch verschlechtert sich die Luftqualität. Die CO₂-Über(ppm)stunden steigen dann von zunächst 43% unter dem zentralen Lüftungssystem auf über 14% an. Die Feuchteüberstunden liegen vor der Anpassung 15% unter, nach der Anpassung 49% über dem Wert des Referenzsystems. Die Lüftungswärmeverluste sinken von zunächst 223%, auf 202% über dem des zentralen Lüftungssystems. Durch die Reduktion der Volumenströme sinken auch die annuitätischen Ausgaben von 7% auf unter 31% der Werte von System 1.

Durch die Anrechnung des wirksamen Infiltrationsvolumenstroms verschlechtert sich die Luftqualität, insbesondere die Feuchteüberstunden liegen nach der Anpassung über denen des zentralen Lüftungssystems. Deswegen erscheint eine Anrechnung hier nicht sinnvoll. Bei System 5b handelt es sich um ein bedarfsgeführtes Lüftungssystem, bei dem die Luftqualität letztendlich von den eingestellten Regelparametern und Grenzwerten abhängt. Ein Rückschluss auf die allgemeine Sinnhaftigkeit der Anrechenbarkeit des wirksamen Infiltrationsvolumenstroms sollte daher nicht erfolgen.

4. Zusammenfassung und Folgerungen

Im vorliegenden Projekt wurden die Grundlagen für die Untersuchung und Bewertung von Wohnungslüftungssystemen auf Basis experimenteller Daten geschaffen. Die Bewertung der Luftqualität mit Hilfe von CO₂-über-(ppm)-Stunden erweist sich als sinnvolles Werkzeug, um insbesondere eine Bewertung von bedarfsgeführten Systemen (smart ventilation) zu ermöglichen. Dies soll in zum Teil internationalen Folgeprojekten weiterentwickelt werden.

Es zeigte sich, dass eine vergleichende Bewertung unter Berücksichtigung aller Bewertungsgrößen schwierig und nicht vollständig schlüssig durchzuführen ist. Dies liegt unter anderem an der aus Bauherrensicht nicht eindeutig festzulegenden Gewichtung der Bewertungsgrößen zueinander. Grundsätzlich lassen sich mit allen Systemen gute Raumluftqualitäten erreichen, jedoch zum Teil mit deutlichen Verlusten bei der Energieeffizienz.

Es konnten dennoch Ergebnisse zu Anpassungen der Auslegungsvolumenströme nach DIN 1946-6 abgeleitet werden. Dies soll in die weitere Normungsarbeit einfließen.

Im Rahmen des Projektes wurde eine hier nicht erwähnte Probandenstudie zur Wohnungslüftung durchgeführt. Ergebnisse hierzu findet man im Abschlussbericht [1].

Projektbeteiligte und Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung für die Förderung im Rahmen der Förderlinie Zukunft Bau und dem Projektbetreuer Andreas Windisch für dessen Unterstützung.

Bei unserem Projektpartner Fraunhofer IBP, namentlich Rafael Gramm, Sarah Heiler, Sume Park bedanken wir uns für die gute Zusammenarbeit.

Besonderer Dank gilt unseren Partnern aus den beteiligten Unternehmen für die Mitarbeit und die finanzielle Unterstützung:

CG Elementum AG: Ruediger Buchheim (bis 02.2020), Steffen Guhlemann (ab 02.2020)

Maico GmbH: Dipl.-Ing. (FH) Achim Grunschel

VELUX Deutschland GmbH: Daniel Pauk, M.Eng.

-
- [1] Markus Wirnsberger, Dominik Aimer, Harald Krause, Sarah Weiner, Sumeé Park: Untersuchung kosten günstiger Lüftungslösungen für den mehrgeschossigen Wohnungsbau hinsichtlich Energieeffizienz, Lüftungseffektivität und Nutzerkomfort in gekoppelten Labor- und Simulationsumgebungen, Abschlussbericht 2021, ZukunftBau, SWD-10.08.18.7-18.24
 - [2] DIN 1946-6:2019-12, Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung, 2019, Beuth Verlag Berlin
 - [3] DIN 1946-6 Beiblatt 1:2012-09, Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung – Beiblatt 1: Beispielberechnungen für ausgewählte Lüftungssysteme, 2012, Beuth Verlag Berlin
 - [4] DIN 18017-3:2020-05, Lüftung von Bädern und Toilettenräumen ohne Außenfenster – Teil 3: Lüftung mit Ventilatoren, 2020, Beuth Verlag Berlin
 - [5] Pathak, A., Norrefeldt, V. u. Grün, G.: Modelling of Radiative Heat Transfer in Modelica with a Mobile Solar Radiation Model and a View Factor Model. Proceedings of the 9th International MODELICA Conference, September 3-5, 2012, Munich, Germany. Linköping Electronic Conference Proceedings. Linköping University Electronic Press 2012, S. 271–278
 - [6] CONTAM User Guide and Program Documentation Version 3.2, Dols, W. S. u. Polidoro, B. J., 2015
 - [7] DIN EN ISO 7730:2006-05, Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO_7730:2005); Deutsche Fassung EN_ISO_7730:2005
 - [8] VDI 2067 Blatt 1:2012-09. Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung
 - [9] Strobl, T., Wirnsberger, M. u. Krause, H.: Einfache Lüftungssysteme für Wohngebäude – Untersuchungen in einer Forschungswohnung. International Passivehouse Conference 2018. München: PHI Darmstadt 2018, S. 8

Hygienische Bewertung von Baumaterialien – richtig planen und konstruieren

Karl-Heinz Weinisch
Geschäftsführer, Bausachverständiger
IQH GmbH
Weikersheim, Deutschland



Hygienische Bewertung von Baumaterialien – richtig planen und konstruieren

Hygienische bzw. gesundheitsdienliche Räume, Bauteile und Bauprodukte sind juristisch betrachtet ein im Grundgesetz, im Vertragsrecht, in der Landesbauordnung oder im Arbeitsschutzgesetz festgeschriebener Anspruch.

Der bauliche Gesundheitsschutz ist neben dem Wärme-, Schall- und Brandschutz eine baurechtliche Anforderung und betrifft zunehmend die Planung und Ausführung von Gebäuden. Das Thema ist komplex, da es viele Rahmenbedingungen, Regelungen und Zusammenhänge zu beachten gilt.



Abbildung 1: Informationen zum Gesundheitsschutz auf der Internetseite des Informationsdienst Holz: www.holz-und-raumluft.de

Zudem betreffen die gewonnenen Planungs- und Materialdaten die Nachhaltigkeitsziele von Zertifizierungssystemen wie DGNB und BNB und seit 01. Juli 2021 das neue Konzept Qualitätsziele zum Nachhaltigen Bauen (QNG), also auch die Ökobilanzen und Lebenszykluskosten für Gebäude.¹

1. Nachhaltiges Bauen und Gesundheitsschutz

Seit Gebäude immer besser gedämmt sind und weniger Luftwechsel stattfindet, richtet sich der Blick auf die Qualität der Innenraumluft und mögliche Baustoffemissionen. Neben CO₂, Temperatur und Luftfeuchtigkeit beeinflussen die Baumaterialien und eine Vielzahl an Fremdstoffen die Qualität der Raumluft, die oftmals unbedacht durch den Raumnutzer selbst beeinflusst wird. Aus mangelnder Sachkenntnis über seine eigenen möglicherweise schadstoffemittierenden Möbel, Reiniger oder Raumausstattungs-materialien wird er dann als Kläger die Störquelle beim Gebäude oder Baustoff suchen.



Abbildung 2: Baustoff-, nutzer- und standortbezogene Einflussfaktoren auf die Raumluftqualität

¹ Programm und Datenbank für LCC und LCA www.legep.de, Dipl.-Ing. Holger König. DGNB / BNB Verfahren.

Fest steht, dass wegen der Energieeinsparverordnung und durch die technische Entwicklung von Kleb-, Dicht-, Kunststoff- und Glasbaustoffen eine nahezu luftdichte Bauweise möglich ist. Der ständige Luftaustausch durch Fugen ist daher heute viel geringer als früher und mit zunehmender Luftdichtigkeit sinkt logischerweise die Raumluftqualität, wenn ein geregelter Luftwechsel fehlt.

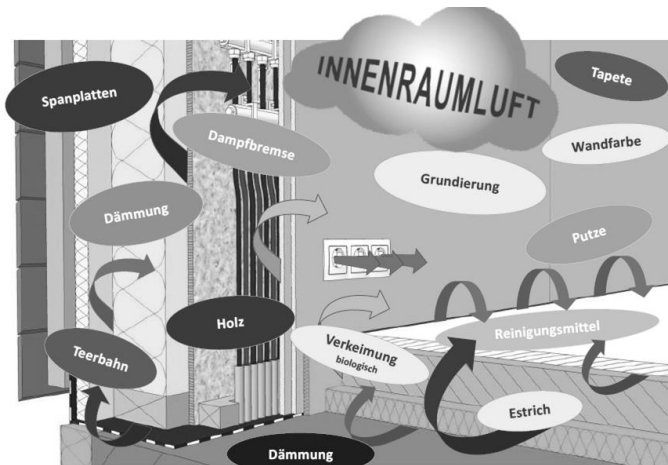


Abbildung 3: Bauprodukte und Konstruktionen und Emissionen in die Raumluft.

Demzufolge muss das Thema Lüftung noch intensiver geplant werden. Baustoffe, Farben und Lacke, Bindemittel und Kleber beeinflussen vor allem in der Anfangszeit das Raumklima durch erhöhte Abgaben von Problemstoffen. Je nach Abklingzeit fallen viele VOC Emissionen schon nach etwa 6 Monaten unter die Richtwert- oder Bestimmungsgrenze.

1.1. Auftraggeber fordern erhöhten Gesundheitsschutz

Behörden und Auftraggeber verlangen zunehmend die Verwendung von schadstoffgeprüften Baustoffen. Zur Freigabe und Bauabnahme wird vor allem in Kitas und Schulen, aber auch für sensible Auftraggeber in Werkvertragsvorgaben verlangt, dass nach Baufertigstellung die Raumluft auf Schadstoffe (VOC – Volatile Organic Compounds gem. Siedepunkt-Definition) geprüft wird. Die Leistungsfähigkeit der Lüftungsanlagen kann mit Hilfe einer CO₂ Messung geprüft werden.

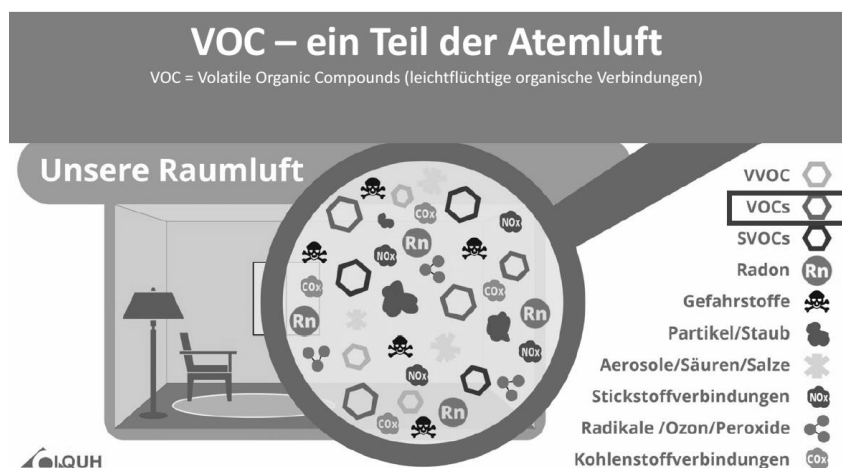


Abbildung 4: VOC und andere Bestandteile in der Atemluft.

Doch ab welcher Konzentration gilt ein Stoff in der Raumluft als «schädlich» bzw. reklamationstauglich? Sind die auffälligen Gerüche oder VOC Emissionen erwiesenermaßen gesundheitsgefährdend, wie es bei streng eingestuftem Benzol oder Styrol der Fall ist? Oder gibt es lediglich ein hygienebezogenes Problem wie bei CO₂ und den Terpenen, Aldehyden und Carbonsäuren durch Holz und Holzwerkstoffe? Diese können erfahrungsgemäss erst bei sehr hohen Konzentrationen Befindlichkeitsstörungen verursachen.

2. Allgemeine juristische Bewertung zum Gesundheitsschutz

Gemäss GG Art. 3 lässt sich eine Fürsorgepflicht für Arbeitgeber, Vermieter oder Bauhandwerker aber auch für die Endverbraucher ableiten. Im Gefahrstoffrecht², in der Landesbauordnung oder in Verordnungen mittels Technischer Regeln (TRGS, TRBA, Asbest/PAK/PCB/PCP-Richtlinie) wird auch über Landesgesetze mit gesundheitsbezogenen Bewertungen zu Bauprodukten Stellung bezogen und über deren Verwendung bestimmt. Auch die Berufsgenossenschaften und Kranken- und Unfallversicherer geben Hinweise zur gefahrlosen Verwendung oder Vermeidung von gesundheitsproblematischen Bau- und Arbeitsstoffen. Mit Richtlinien werden Versicherte, Arbeitnehmer und Arbeitgeber im Sinne der Gesundheitsvorsorge informiert.

Gemäss BGB § 617-619 besteht eine Fürsorgepflicht für Schulgebäudeinhaber gegenüber Schülern und Lehrern gem. BGB § 78 iVm § 45 BamtStG. Auf Grund handelsrechtlicher Vorschriften durch die CE Kennzeichnung und Bauprodukteverordnung besteht eine Prüfpflicht für den Handel und seine in Verkehr gebrachten Baustoffe. Hersteller und Industrie sind ebenfalls verpflichtet, die europäischen oder landeseigenen Regeln und Prüfpflichten einzuhalten. Produkt- und Industrielabel wie Blauer Engel, natureplus, TÜV geprüft, IBR. Baustoff- und Gebäude-Label orientieren sich an staatlichen Vorgaben und Normen und dienen der besseren Vermarktung und dem freiwilligen Verbraucherschutz.

Aktuelle wissenschaftliche Studien zu Holzemissionen und deren Gesundheitsverträglichkeit³ lassen hoffen, dass die bisher strengen Richtwerte bezogen auf Terpene, Aldehyde und Carbonsäuren (nVOC = natürliche leichtflüchtige organische Verbindungen, z.B. Terpene) neu diskutiert werden.

Im Holzbau ist besonders darauf zu achten, dass die Normen und Empfehlungen für die Raumluftuntersuchungen, insbesondere die Klima- und Messraumvorbereitung, streng eingehalten und protokolliert werden. Der Messtechniker benötigt besondere Erfahrung mit den Folgen von frischen Farbanstrichen, hohen Raum- oder Oberflächentemperaturen und Luftfeuchtwerten sowie Lüftungsfehlern vor der Raumluftmessung.

2.1. Individuelles Werkvertragsrecht

Durch die individuell gestaltbaren werkvertraglichen Vereinbarungen können diese Anforderungen neben den allgemein festgelegten Qualitätsanforderungen an den Gesundheitsschutz individuell verändert werden. Dies kann dazu führen, dass Richtwerte gelockert oder aber verschärft werden. Solche Absprachen zu strengeren Raumluftrichtwerten bewirken, dass nicht verpflichtende Raumluftrichtwerte rein rechtlich und bei Abnahmemessungen Grenzwert- bzw. Verbotscharakter erhalten.

Dies betrifft auch Raumluftgrenzwerte für VOC durch Güteabsprachen wie DGNB, BNB, QNG Siegel oder darin beschriebene Verwendungsverbote für Inhaltsstoffe oder Bauprodukte (z.B. gefährliche, hochentzündliche, toxische Stoffe gem. Sicherheitsdatenblatt).

Bei der Bauabnahme kann es erfahrungsgemäss zu Beanstandungen durch die Bauherrschaft wegen dem Verdacht schädlicher Baustoffausdünstungen kommen, wenn er lediglich auf Geruchswahrnehmungen oder unspezifische Reizwirkungen auf die Augen oder Atemwege nach den Baumassnahmen begründet. In solchen Schlichtungs- oder Rechtsstreitfällen werden dann erfahrungsgemäss die allgemein publizierten Richtwerte wie die UBA oder die WHO Richtwerte⁴ zur raumluftanalytischen Beweissicherung herangezogen, die gemäss den werkvertraglichen Vorgaben sehr streng sein können.

² Forderungen an die Industrie: REACH – europäisches Chemikaliengesetz, Decopaint- Richtlinie für Lösemittel-EU

³ <http://www.holz-und-raumluft.de/forschung>

⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte#ausschuss-fur-innenraumrichtwerte-air>

3. Technische Baubestimmungen zum Gesundheitsschutz

«Die Luftqualität in Innenräumen spielt eine wesentliche Rolle für die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen. In zahlreichen wissenschaftlichen Studien ist belegt, dass die Ausbildung von Atemwegserkrankungen, Entzündungsreaktionen und Reizschädigungen am Atemtrakt und Augen, systemische Schädigungen, Sensibilisierungen/Allergien sowie eine Reihe unspezifischer Symptome (Unwohlsein, Kopfschmerzen, Übelkeit, zentralnervöse Störungen, Schwindel usw.) in direktem Zusammenhang mit der Innenraumluftqualität und Luftverunreinigungen stehen. Unter den gesundheitsschädigenden Wirkungen erfordern karzinogene, mutagene und reproduktionstoxische Auswirkungen eine besondere Beachtung.»

Die Gesundheits- und Hygieneanforderungen an bauliche Anlagen leiten sich aus den gesundheitsrelevanten Eigenschaften der verwendeten Bauteile, Bausätze und Baustoffe ab. Diese können durch Emissionen zu den Raumluftverunreinigungen beitragen und erhebliche Auswirkungen auf die Gesundheit verursachen. Dazu gehören potenzielle Emissionen flüchtiger anorganischer und organischer Verbindungen ebenso wie von Partikeln.

«Zu berücksichtigen sind bauliche Anlagen, Bauteile und Baustoffe mit direktem oder indirektem Kontakt zum Innenraum, das heisst auch solche Produkte, die zwar mit anderen Produkten verkleidet oder abgedeckt, aber nicht diffusionsdicht abgeschottet sind. Auch der Gehalt nicht oder wenig flüchtiger Stoffe ist für die gesundheitliche Bewertung von Bedeutung, da diese z.B. durch das Bearbeiten der Produkte auch in partikel- oder staubgebundener Form freigesetzt, für den menschlichen Körper verfügbar gemacht oder durch direkten Hautkontakt aufgenommen werden können.»

«Die Planung, Bemessung und Ausführung von Bauwerken und die Verwendung von Bauprodukten sind in Deutschland in den Landesbauordnungen geregelt. Diese enthalten allgemeine und materielle Anforderungen sowie Verfahrensregeln. Für das Weitere verweisen sie auf die Technischen Baubestimmungen. Diese konkretisieren die allgemeinen Anforderungen der Bauordnungen – zum Beispiel durch Inbezugnahme einschlägiger technischer Regeln.»⁵

3.1. Anforderungen an Bauprodukte bezüglich des Gesundheitsschutzes (ABG):2019-05⁶

Um zuverlässige Angaben zu Schadstoffemissionen aus Bauprodukten machen zu können, sind sowohl validierte Prüfverfahren als auch qualifizierte Prüfstellen erforderlich.

Bauprodukte und deren Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen können gemäss der Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft im Labor überprüft und zugelassen werden, Deutsche Fassung EN 16516:2017+A1:2020 (bzgl. Ammoniak, Vorbereitung PAK Recycle)⁷. Das Verfahren ist für flüchtige organische Verbindungen, schwerflüchtige organische Verbindungen, leicht flüchtige Aldehyde und Ammoniak anwendbar.

Können Materialien und Gegenstände, die in einem Haus verbaut werden, die Gesundheit des Menschen beeinträchtigen? Dieser Frage widmet sich der Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB)⁸.

3.2. Qualitätsziele für Gebäude

Eine an die menschlichen Bedürfnisse angepasste und optimierte Wohnqualität wird durch die Einhaltung von Raumluft-, Raumklima- und Behaglichkeitszielwerten erreicht. Daher ist schon bei der Bauplanung auf eine emissionskontrollierte Stoffauswahl (Kontrollzertifikate gem. E1plus, EC1plus, DIN EN 16516, Blauer Engel, natureplus, eco-cert/Köln, uvm) zu achten. Trotz der Verwendung von geprüften Baustoffen folgt allerdings keine Garantie

⁵ Quelle: <https://www.dibt.de/de/wir-bieten/technische-baubestimmungen>

⁶ https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Technische_Bestimmungen/MVVTB_2020-1.pdf

⁷ Norm zur Baustoff-Emissionsprüfung: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-16516/321737979>

⁸ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/dokumente/kurzinfo_agbb.pdf

dafür, dass dadurch alle aktuellen VOC Richtwert-Vorgaben des UBA⁹ bei einer normgerechten Raumluftmessung eingehalten werden können, da Prüfbedingungen wie die Aussen- und Innenklimaparameter einen immensen Einfluss auf die VOC Ergebnisse haben.



Abbildung 5: Best Practice Beispiele unter www.holz-und-raumluft.de

Einige Städte haben bereits eigene Zielwertvorgaben für die Raumluft wie z.B. extrem niedrige TVOC-Summenwerte oder VOC Einzelrichtwerte (Richtwerttabellen des Umweltbundesamtes und Ausschuss für Raumluftqualität). Manchmal sind auch unrealistische oder nicht erfüllbare Formulierungen im Leistungsverzeichnis enthalten und bedürfen einer Klärung – möglichst noch vor der Unterzeichnung des Werkvertrags durch den Auftragnehmer.

Neben dem neuen QNG (Qualitätsziele für Nachhaltiges Bauen) für Privatgebäude steht mit dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundesbauministeriums (BNB) und dem DGNB Verfahren (Dt. Ges. für Nachhaltiges Bauen)¹⁰ ein ergänzendes Bewertungsverfahren für Büro, Schul- und Verwaltungsbauten zur Verfügung, in dem u.a. die stufenweisen Zielwerte für die Raumluftqualität formuliert und vereinbart werden.

4. Landesbauordnungen

Die zurzeit gültige Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) ist seit 31. August 2017 in Kraft. Sie hat nach § 85 a. der Musterbauordnung in erster Linie die Aufgabe, die allgemeinen Anforderungen der Musterbauordnung an bauliche Anlagen, Bauprodukte und andere Anlagen und Einrichtungen durch Technische Baubestimmungen zu konkretisieren. Genauso wie die Musterbauordnung besitzt die MVV TB keine Rechtskraft, entfaltet diese aber ab dem Zeitpunkt, an dem Landesbauordnungen sie in Bezug nehmen. Momentan (Stand August 2021) stehen noch Aktualisierungen zum Gesundheitsschutz in den jeweiligen Landesbauordnungen aus.

⁹ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innen-raumrichtwerte#richtwerte-fur-die-innenraumluft>

¹⁰ Quellen: www.dgnb.de, www.bnb-nachhaltigesbauen.de, QNG www.nachhaltigesbauen.de

Prüfnorm für Bauprodukte DIN EN 16000ff (ab 2020 neue EU Norm 16516)

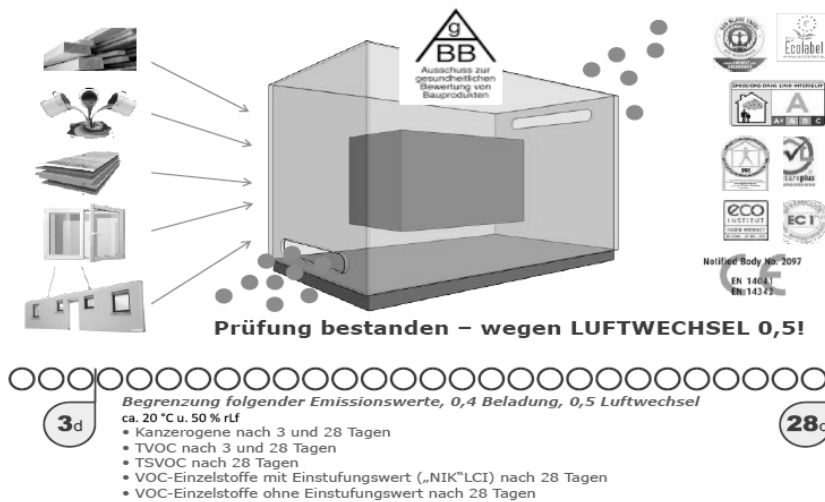


Abbildung 6: Zertifizierungs- und Prüfkammermodell – Bauprodukte und Prüfzeichen

4.1. Für welche Bauprodukte besteht eine Nachweispflicht?

Die MVV TB beinhaltet im Anhang 8 «Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes (ABG)» allgemeine und besondere Anforderungen an Bauprodukte um sicherzustellen, dass eine gesundheitsgefährdende Exposition der Gebäudenutzer ausgeschlossen werden kann.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Liste der genannten Produkte nicht abschliessend ist und Änderungen noch möglich sind. Der jeweils aktuelle Stand der Umsetzung kann im Internet abgerufen werden. (DIBt: www.dibt.de/de/wir-bieten/technische-baubestimmungen)

Stand 2021: Für die nachfolgend aufgeführten Bauprodukte bestehen Anforderungen hinsichtlich der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, wenn sie in Aufenthaltsräumen und in baulich nicht davon abgetrennten Räumen Verwendung finden:

- Bodenbeläge, Bodenbelagskonstruktionen sowie deren Komponenten
- Klebstoffe,
- reaktive Brandschutzbeschichtungssysteme auf Stahlbauteilen,
- Dämmstoffe (Phenolharzschaume und UF-Ortschaume),
- Dekorative Wandbekleidungen und dickschichtige Wandbeschichtungen auf Kunststoffbasis,
- Deckenverkleidungen und Deckenkonstruktionen auf Kunststoffbasis,
- Holzwerkstoffe in Form von schlanken ausgerichteten Spänen (OSB) und kunstharzgebundene Spanplatten,
- dekorative Hochdruck-Schichtpressstoffplatten (HPL),
- nachträglich aufgebrachte organische Feuerschutzmittel.

4.2. Fazit und Aussichten

Für Holzfaserdämmplatten oder Naturholz besteht bis auf weiteres keine Prüfpflicht. In öffentlichen Ausschreibungen für Schulen und Kitas werden zunehmend erweiterte Nachweispflichten bzw. das Anlegen von Baustoffinventaren vorgeschrieben. Es besteht zurzeit eine Verunsicherung über die Gültigkeit von älteren VOC Prüfergebnissen. Daher ist es ratsam, jetzt schon auf Produkte umzustellen, die nach der aktuellen Prüfnorm DIN EN 16516 geprüft wurden.

5. Bauplanungstools zum Gesundheitsschutz

Vor allem im Schulbau wird der Holzbau immer attraktiver. Gleichzeitig sind aber auch die Nachweisverpflichtungen für nachhaltige und gesundheitsverträgliche Bauweisen gestiegen. Daher ist es bei öffentlichen Ausschreibungen zum baulichen Gesundheitsschutz wichtig, dass schon bei der Grundlagenermittlung, aber vor allem bei der Vertragsunterzeichnung, keine Anforderungen bezogen auf die Einhaltung von Baustoffqualitäten, Stoffverbote oder die Einhaltung von Raumluftrichtwerten übersehen werden, da diese LV-Vorgaben unter Umständen die Kostenkalkulation oder die Bauzeit betreffen könnten.

Ausbildungstools unterstützen die Holzbauunternehmen bei der Auftragsannahme, Stoffauswahl, Planung und Controlling. Daher wird neben der Einweisung und Schulung der Mitarbeiter ein

- Auftrags-Controlling (Sichtung von Vertragsbedingungen, Materialauswahl)
- Planungs-Controlling (Unterstützung bei der Werkplanung, Bauteilkonstruktionen)
- Qualitäts-Controlling (Koordination der Messplanung, Raumklimakontrolle und Messraumvorbereitung, Vorlagen für die Mess- und Probenahmebedingungen) empfohlen.

5.1. Lüftungsplanung

Der staatlich eingeschlagene Weg des Umweltschutzes mit Hilfe des erhöhten baulichen Wärmeschutzes insbesondere der Luftdichtheit ist eng mit einer bauphysikalisch korrekten Ausführung verknüpft, um Bauschäden durch Konvektions- und Kondensatfeuchte oder Schimmelwachstum zu vermeiden. Die Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung soll hierzu massgeblich beitragen. Das wird damit begründet, dass wegen der energetischen Anforderung zur Luftdichtheit ein ausreichender Luftwechsel durch Fugenlüftung (sog. Infiltrationslüftung) nicht mehr sichergestellt ist. Deshalb ist generell eine nutzerunabhängige Lüftungskonzeptplanung ratsam, nicht zuletzt um Reklamationen wegen VOC Richtwertüberschreitungen, Gerüchen, Feuchte- und Risschäden zu vermeiden.

Das Lüften von Räumen kann technisch oder manuell erfolgen. Aus hygienischen Gründen muss je nach Art und Intensität der Raumnutzung ein regelmässiger und ausreichender Luftaustausch stattfinden. Bei unzureichender und nicht angepasster Fensterlüftung oder durch eine falsch gesteuerte oder unzureichend dimensionierte Lüftungsanlage kann genügende Frischluftzufuhr bzw. Feuchte- und Schadstoffabführung nicht garantiert werden.

Die Luftqualität wird u.a. durch die Konzentration von sogenannten «flüchtigen organischen Verbindungen» aus Möbeln, Baustoffen, Reinigungsmitteln, Wohntextilien, Druckern und Tabakrauch bestimmt. Neben diesen Stoffen sollen auch CO₂, das radioaktive Radongas, Keime und Feinstaub durch einen Luftaustausch «hinausgelüftet» werden.

5.2. Lüftung bietet Sicherheit

Um eine rechtssichere Raumlufqualität erreichen zu können, sollte die Bauherrschaft über die Notwendigkeit eines Luftwechsels aufgeklärt werden. Eine nutzungsbezogene Lüftungsplanung ist unabdingbare Voraussetzung für ein behagliches Raumklima und die Einhaltung der werkvertraglich zugesicherten VOC Raumlufzielwerte. Weiterhin liefert die Lüftungsplanung Angaben für die Lüftungsbedingungen vor und während den VOC Freimessungen.



Abbildung 7: LWR – Luftwechselraten, Holzbau Messstudie in Schulräumen: Auswirkung von unterschiedlich grossen Lüftungsanlagen auf die Raumluftmesswerte (Risikominimierung durch Vermeidung von hohen Partikel-, VOC-, CO₂-Werten).

Wie können auch bei Gebäuden ohne Lüftungsanlage die VOC Richtwerte eingehalten werden? Auf Grund von Berechnungen und je nach Raumkubatur und Raumnutzerzahl sollte im Idealfall alle 45 – 120 Minuten quergelüftet werden, damit bestenfalls die gesamte Raumluft ausgetauscht wird. In Schulen und Kindertagesstätten ist für Räume ohne Lüftungsanlage solch eine vorher berechnete Luftwechselzahl vorgeschrieben. In Nutzungs- und Dienstanweisungen kann das Lehrpersonal zur händischen Querlüftung in vorher berechneten Zeitabständen verpflichtet werden. Komfortabler sind VOC-, CO₂-, Temperatur- und Feuchtesensoren, die zur notwendigen Lüftungszeit ein unüberhörbares Tonsignal abgeben.

Fazit:

Neubauvorhaben, für die rechtsverbindliche VOC Raumluftzielwerte festgelegt wurden, sollten mit effektiven Lüftungsanlagen geplant werden, damit am VOC Raumluftmessgerät des Messtechnikers (Kopfhöhe Sitzplatz des Raumnutzers - Raummitte) der vom Hersteller garantierte Frischluftanteil tatsächlich ankommt. Mit einer CO₂ Verlaufsanalyse kann die Effizienz von Lüftungsanlagen vor einer VOC-Richtwertmessung geprüft werden.

Erfahrungsgemäss ersetzen manche Lüftungsanlagen im Normalbetrieb und mit noch akzeptablem Geräuschpegel nicht vollständig eine nutzungsangepasste Querlüftung über die Fenster und Türen. Wird vom Auftraggeber keine Lüftungsanlage gewünscht, ist die normengerechte und unbedenkliche Nutzung von Schul-, Verwaltungs- und Wohnräumen in Frage zu stellen. Im Privatbereich ist der Nutzer für sich selbst verantwortlich. Nicht nur die Baufirmen, sondern auch die Gebäudenutzer wie z.B. Arbeitgeber und Betreiber von Schulen haben die Verantwortung für eine gute Raumluftqualität, d.h. eine ausreichende Frischluftzufuhr bzw. eine Abfuhr von Schadstoffen. Wird also keine Lüftungsanlage installiert, so müssten die für einen ordnungsgemässen Gebäudebetrieb verantwortlichen Stellen mit Hilfe einer Arbeits- bzw. Dienstanweisung die an die Raumgrösse und Personenzahl angepassten Lüftungsintervalle den dafür zuständigen Personen vorschreiben und die CO₂ Werte kontrollieren.

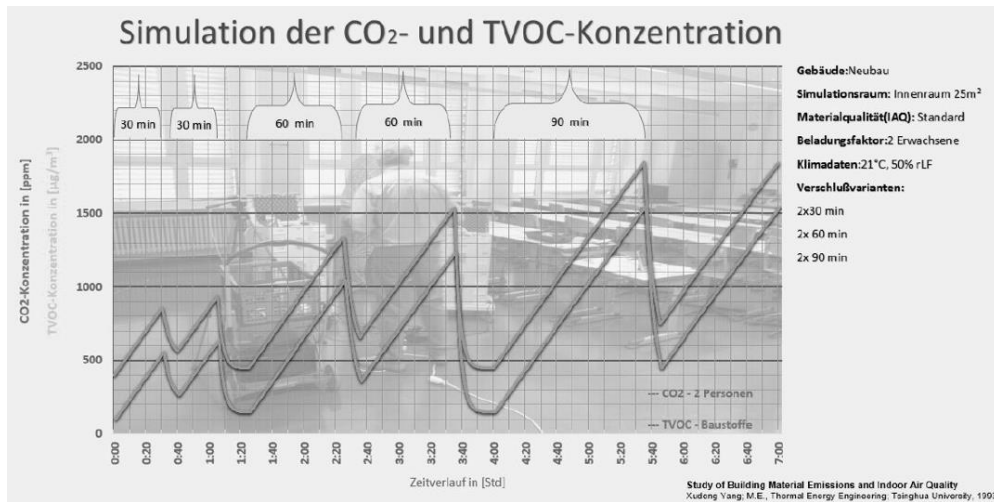


Abbildung 8: Erfahrungsbasiertes Simulationsmodell für TVOC (Summe der leichtflüchtigen organischen Verbindungen) mit einem Excel Algorithmus. Das Einschätzungsmodell (Betrachtungszeitraum ca. 1-8 h) basiert auf Messdaten in neu errichteten Holzgebäuden. Die TVOC Werte sind von der Auswahl der Baustoffe, Reiniger und Raumausstattung abhängig. Nimmt die Anzahl der Raumnutzer zu, dann steigen die CO₂ Messwerte kontinuierlich weiter an. VOC und CO₂ Werte haben einen ähnlichen Verlauf.

In Zukunft sollten Planer und Holzbauunternehmer neben den Standard Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung auch feuchte- und klimatechnische Geräte anbieten, weil die Innenraumhygiene sich inzwischen auch mit der sommerlichen Überhitzung und der winterliche Lufttrockenheit beschäftigen muss.

6. Checklisten helfen Planern

Mit Hilfe der folgenden Pre-Checks, d.h. Checklisten und Prüfungen können Sie das Risiko von Rechtsproblemen und Stress bei Bauabnahmen frühzeitig beeinflussen und sogar Vorteile im Wettbewerb erarbeiten.

Ökobilanzdaten schon bei der Angebotsabgabe überzeugen Auftraggeber hinsichtlich Nachhaltigkeit und ein Qualitätsmanagement und geschulte Mitarbeiter sorgen für die Erreichung der Raumluft-Richtwerte sowie ein gutes Image. Die Prüfung von Werkverträgen auf realistische Anforderungen schützt vor Überraschungen im Bauablauf und unvorhergesehen Kosten.

6.1. Pre-Check Bauplanung

- Prüfung der geforderten Raumluftrichtwerte und der vereinbarten Materialgüte. (Prüfzertifikate wie EPD, Blauer Engel, EC1plus u.a.)
- Ist eine PreCheck-Ökobilanzierung (LCA) und Lebenszykluskosten LCC) im Schätzverfahren zu erstellen?
- Planung mit emissionsarmen Farben, Klebern, Estrichen, Dämmstoffen, Holz- und Holzwerkstoffen sowie Hilfsprodukten.
- Einsatz von emissionsarmen und kapillaraktiven Raumbooberflächen.
- Materialänderungen sind mit der Bauherrschaft und den Baubeteiligten abzustimmen.
- Planung der Kontrollmessung gemäss den Anforderungen aus dem Werkvertrag.

6.2. Pre-Check/Bauwerkvertrag

- Gibt es allgemeine Textstellen im Leistungsverzeichnis wie: «Vorgaben zum baulichen Gesundheitsschutz lt. der neuen MVV TB/ LBO, oder lt. Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden (UBA) sind einzuhalten?»
- Gibt es gefahrstoffrechtliche Anforderungen (z.B. verbotene Stoffe) im Text/ bzgl. baulichem Gesundheitsschutz?

- Sind für die Verwendung von Bauprodukten spezielle (VOC) Prüfzertifikate, Labels vorgeschrieben?
- Sind bestimmte Stoffe oder Baumaterialien vom Einsatz ausgeschlossen?
- Ist vom AN ein Baustoffinventar inkl. TM, SDB, Prüfzertifikaten zu führen?
- Werden im Leistungsverzeichnis klimatechnische Anforderungen für den Gesundheitsschutz, z.B. Beschattung, RLT-Anlagen, Luftwechsel ausreichend berücksichtigt?
- Werden seitens des AG die Einhaltung von Raumluftzielwerten (VOC, TVOC Leit- u. Richtwerte) gefordert?
- Wird die Vorgehensweise bei der Raumluftkontrollmessung (DIN ISO 16000) im Vertrag exakt beschrieben?
- Werden Normen und Bewertungsquellen für die Raumluftmesswerte vom AG angegeben?
- Ist die ordnungsgemäße und rechtssichere Raumluftmessung vom AN anzubieten?
- Sind Massgaben zur Messraumvorbereitung vorhanden?
- Werden erfüllbare Massnahmen nach einer **nicht** bestandenen Kontroll- u. Freimessung beschrieben?



Abbildung 9: Welche Dokumente wurden für die Prüfung verwendet und können dem AG vorgelegt werden? Wie rechtssicher sind die Dokumente bzw. die Aussagen zu den VOC? Sind die Daten für die Ökobilanzierung im PreCheck Verfahren verwendbar?

6.3. Checkliste Bauausführung und Bauleitung

- Einhaltung von Trocknungszeiten und Verarbeitungsvorschriften der Bauprodukte.
- Vermeidung von unnötigen Gerüchen, Lösungsmitteln oder Geruchs-, Staub- und Materialemissionen kurz vor Messungen.
- Beachtung von Baufeuchte, Klima und Temperaturen während und nach der Verarbeitung. Protokollierung der Klimaparameter (z.B. Holzfeuchtwerte) für die Bauabnahme.
- Permanente Be- und Entlüftung und Temperierung der Baustelle während den Endausbaustufen.

6.4. Vorbereitung von Raumluftmessungen

- Im Bauzeitenplan ist zu berücksichtigen, dass ca. 10 Tage vor der Messung keine Reinigungs- und Bauarbeiten mit emittierenden Stoffen durchgeführt werden.
- In Raumlufttechnischen (RLT)-Anlagen muss die Funktionstüchtigkeit und Staubfreiheit garantiert werden. Kontrollsensoren hinsichtlich Temperatur, Feuchte oder CO₂, sind zu empfehlen.
- Bei Neubauten ohne RLT-Anlagen sind höhere Anforderungen an die Planung erforderlich, um die Hygiene-Richtwerte einhalten zu können.

- Die zu messenden Räume, die angrenzenden Flure und Räume und die Treppenhäuser müssen vor der Messung beschattet werden. Aussenklimawerte sind zu berücksichtigen.
- Erst wenn die Raumklima-Zielwerte eingehalten sind, kann die Raumluftmessung stattfinden.
- Die Normenvorgaben für Raumluftmessungen sind exakt einzuhalten.
- Für die Durchführung werden holzbauerfahrene Messingenieure empfohlen.

7. Schlussbetrachtung

Hohe CO₂ Werte, Fehlgerüche durch zu geringe Luftwechsel oder durch Reiniger sind erfahrungsgemäss die häufigsten Reklamationsgründe in neu bezogenen Holzgebäuden. An zweiter Stelle für Baumängelanzeigen wegen auffälliger Fehlgerüche stehen unsachgemäss verarbeitete Baustoffe als Ursache. Werden in Holzgebäuden unsachgemäss vorbereitete Raumluftmessungen durchgeführt, dann fallen natürliche VOC wie Terpene, Aldehyde und Carbonsäuren auf. Diese nVOC sind jedoch nur zahlenmässig auffällig, denn neueste Forschungsergebnisse belegen, dass sie unproblematischer sind, als bisher angenommen. Bei ausreichender Frischluftzufuhr sind diese Verbindungen sowieso instabil und bauen sich von selbst wieder schnell ab.

Neueste toxikologische bzw. tier- und zellenbasierte Studien geben Anlass zur Hoffnung, dass vor allem die durch Holz und Holzwerkstoffe verursachten Terpenkonzentrationen keine gesundheitlichen Auswirkungen auf die Gesundheit haben. (Infos/Quellen unter <https://baustoffe.fnr.de/projekte/emissionen/>) Studien weisen sogar darauf hin, dass Terpenoide gesundheitsförderliche Wirkweisen haben können. (Infos/Quellen unter <http://www.holz-und-raumluft.de/forschung>)

7.1. Aussichten und Empfehlung

Bevor wegen mangelhafter Messraumvorbereitung oder minimalen Richtwertüberschreitungen und unbewiesenen Gesundheitsfolgen unverhältnismässig aufwändige Sanierungsmassnahmen sowie Eskalation bzw. Rechtsstreit drohen, führt erfahrungsgemäss schon der Einbau eines dezentralen Einzellüfters mit Wärmerückgewinnung zu einer Einigung und zur Einhaltung der VOC Zielwerte. Andernfalls muss vor allem in Schulen den Raumnutzern eine schriftliche Gebrauchsanleitung mit den hygienebezogenen Lüftungsintervallen für die freie Lüftung ausgehändigt werden.

VOC Kontrollmessungen sollten nur bei normgerechten Messraumvorbereitungen und Standard-Klimabedingungen von einem holzbauerfahrenen Messingenieur durchgeführt werden.

Block A3

Bemessen und Konstruieren im Holz(haus)bau

Decken für Holzhochhäuser

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



Decken für Holzhochhäuser

1. Einige Design-Kriterien für Hochhausdecken

Hochhäuser werden häufig als Büro-, Wohn- oder Mixed-Use-Gebäude genutzt. Sie haben dementsprechend größere Deckenspannweiten, die für flexible Bürogebäude heute oft 8,10 m oder weiter spannen. Im mehrgeschossigen Bauen dienen diese Decken als Wohnungstrenndecken und müssen dementsprechend sehr strenge bauphysikalische Anforderungen hinsichtlich Schall- und Brandschutz erfüllen. Insbesondere der Raum- und Trittschallschutz verlangt schwere Deckensysteme. Werden diese als Holzbetonverbund-Decken mit einer durchgehenden Stahlbetonplatte von ca. 10-12 cm ausgeführt, können damit die Anforderungen des Schall- und Brandschutzes gut erfüllt werden. HBV-Systeme haben zudem den Vorteil, dass sie die, für die Bemessung maßgebenden Nachweise der Durchbiegung und der Deckenschwingungen mit geringeren Bauhöhen als mit BSP- oder Holzbalkendecken erfüllen können. Gleichzeitig schaffen HBV-Rippendecken zwischen den Rippen Platz für die Haustechnik und benötigen insgesamt deutlich weniger Holz als die extrem materialintensiven BSP-Decken.

Ein Beispiel für ein kombiniertes Büro-, Hotel- und Wohngebäude ist das mit einem Holzfachwerk ausgesteifte, 18 stöckige Mjøstårnet in Norwegen. Das Holzhochhaus wurde zunächst mit Holzdecken von bis zu 7,50 m Spannweite geplant und in den unteren Geschossen auch so mit Hohlkastendecken ausgeführt. Für die Decken in den oberen Stockwerken 12–18 mussten jedoch schwere, 30cm dicke Stahlbetondecken eingesetzt werden [1].

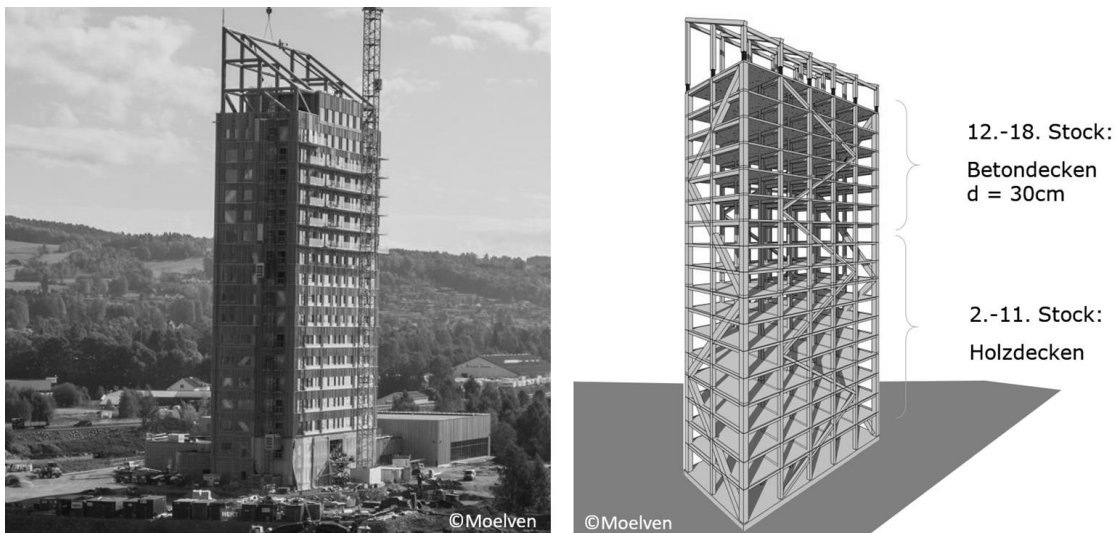


Abbildung 1: Konstruktion 18 stöckiger Mjøstårnet, Norwegen. Holzdecken unten und Betondecken oben

Der Grund für die Verwendung der schweren Betondecken in den Obergeschossen sind die strengen Horizontalbeschleunigungskriterien, die für Hochhäuser eingehalten werden müssen. Sie garantieren, dass auch bei stärkeren Winden eine unbeeinträchtigte Nutzung des Gebäudes ohne große Horizontalbewegungen möglich ist. Das wird im folgenden Kapitel erläutert

2. Einige Design-Kriterien für Hochhäuser

Maßgebend beim Tragwerksentwurf von Hochhäusern ist die Aussteifungskonstruktion, die die Windlasten in die Fundamente ableitet. In der Regel wird dazu der betonierte Hochhauskern genutzt. Der Wind bläst un stetig und turbulent. DIN EN 1991-1-4-Windlasten [2] beschreibt den Wind als eine Grundströmung mittlerer Windgeschwindigkeit, in die Böen unterschiedlicher Größe und Windgeschwindigkeit eingelagert sind (Abbildung 2).

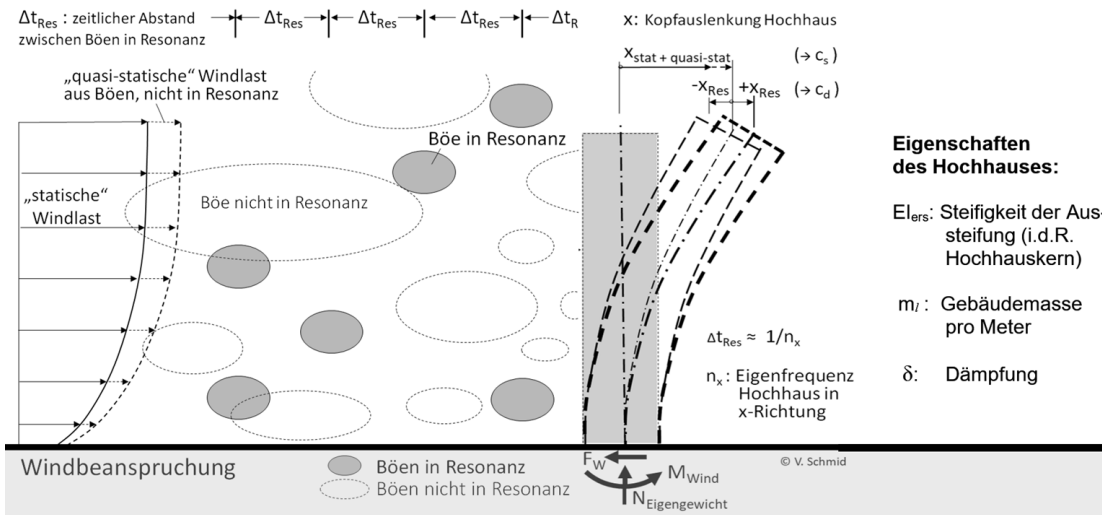


Abbildung 2: Der Wind setzt sich zusammen aus dem statischen Anteil (konstanter Wind), dem quasi-statischen Anteil aus nicht-resonanten Böen und einem resonanten Anteil aus denjenigen Böen, deren Auftrefffrequenz in etwa der Eigenfrequenz n_{1x} des Gebäudes entspricht. Nur diese Böen (hier rot gekennzeichnet) regen das Hochhaus zu Schwingungen an.

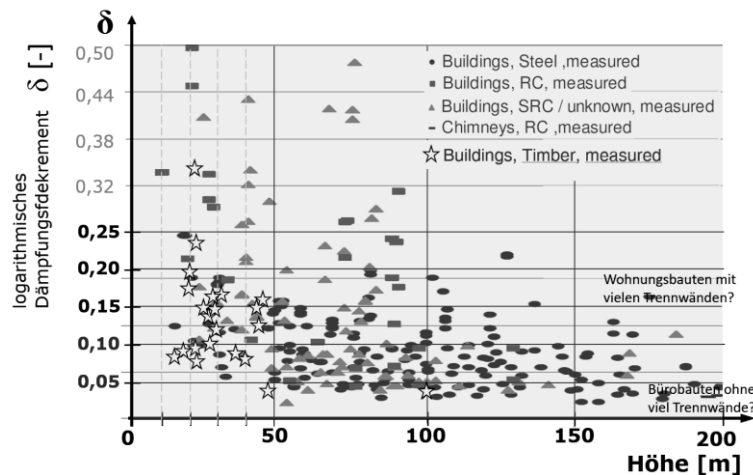


Abbildung 3: Gemessene Dämpfungen von ausgeführten Bauwerken, nach Smith and Wilford 2008 [3]

Ungünstig ist, dass einige dieser Böen das Hochhaus in einem Zeitabstand treffen, der der Schwingungsperiode des Hochhauses entspricht. Die Eigenschwingung des Hochhauses wird durch diese resonanten Böen angeregt. Das führt zum Schwingen des Hochhauses in der Eigenfrequenz, mit zusätzlichen Auslenkungen und Biegemomenten und – besonders wichtig – mit Horizontalbeschleunigungen. Diese stören die Nutzer und müssen deshalb in ihrer Größe beschränkt werden.

Für die auftretende Beschleunigung a kann folgende Proportionalität formuliert werden:

$$a \sim \frac{1}{\sqrt{m_l} \cdot \sqrt{EI_{ers}} \cdot \sqrt{\delta}} \quad (\text{Gl. 1})$$

Etwas vereinfacht dargestellt ist die Beschleunigung damit umgekehrt proportional zur Wurzel aus der Masse pro Meter Hochhaushöhe m_l [kg/m], der Wurzel der Ersatzbiegesteifigkeit der Aussteifungskonstruktion EI_{ers} und der Wurzel der Bauwerksdämpfung δ . Die Dämpfung δ von Hochhäusern nimmt mit zunehmender Hochhaushöhe ab und scheint wenig vom Baumaterial abhängig zu sein. Sie wird als logarithmisches Dämpfungsdekrement δ ab 150m Höhe meist im Bereich von 5% gemessen, manchmal auch geringer und erreicht nur bei kleinen Höhen 10% und mehr (s. Abbildung 3). Ein positiver Einfluss der Anzahl von Trennwänden auf die Dämpfung kann vermutet werden.

Der entwerfende Ingenieur kann nach Gl.1 die Beschleunigung a reduzieren, indem er die Masse m_i des Hochhauses vergrößert sowie die Steifigkeit EI_{ers} der Ausaussteifung erhöht. Die Masse eines Hochhauses bilden vorwiegend die Decken und der Hochhauskern. Die Beschleunigung kann also reduziert werden, indem die Deckenmasse erhöht wird. Entscheidend ist dabei die Masse im oberen Viertel des Gebäudes. So erklären sich auch die Stahlbetondecken im oberen Gebäudeteil des Mjøstårnet.

Im Holzbau bieten sich zur Massenerhöhung vor allem HBV-Decken mit ihren bauphysikalischen Vorteilen an. Wegen ihrer hohen Längs- und Quersteifigkeit können sie zudem die strengen Durchbiegungs- und Schwingungskriterien mit geringeren Bauhöhen als Holzdecken erfüllen. Zusätzlich kann die Masse des Hochhauskerns um den Faktor 5 erhöht und gleichzeitig dessen Steifigkeit EI_{ers} verdreifacht werden, wenn der Hochhauskern in Stahlbeton statt in Holz ausgeführt wird.

Eine ausführliche Beschreibung zur Aussteifung von Holz-, Holzhybrid- und Betonhochhäusern mit Beispielrechnungen findet sich in Schmid, Nettekoven, Sutter 2018 [4]

3. Weiterentwicklung von HBV-Decken für den mehrgeschossigen Holzbau

Decken in Holz-Beton-Verbund Bauweise sind heute Stand der Technik. Insbesondere im mehrgeschossigen Wohnungsbau und bei größeren Spannweiten hilft ihre größere Masse und Steifigkeit die bemessungsrelevanten Verformungs-, Schwingungs- und Schallschutznachweise einzuhalten. Trotzdem haben HBV-Decken noch Verbesserungspotential in Herstellung, Technologie und Kosten, mit dem sich Holzbauer und Forscher oft gemeinsam auseinandersetzen. Hier liefert die Klebetechnik einen wichtigen Ansatzpunkt, da die Verklebung von Holz und Beton eine quasi starre und damit hocheffiziente Verbindung ergibt, die vergleichsweise schnell und preiswert herstellbar ist. Im Folgenden wird die Entwicklungen im Bereich des geklebten Verbunds zwischen Beton und Holz vorgestellt sowie ein realisiertes Pilotprojekt, das von der TU-Berlin zusammen mit der Firma Lignotrend erforscht und umgesetzt wurde.

3.1. Bisherige Forschungen zu geklebten HBV-Decken

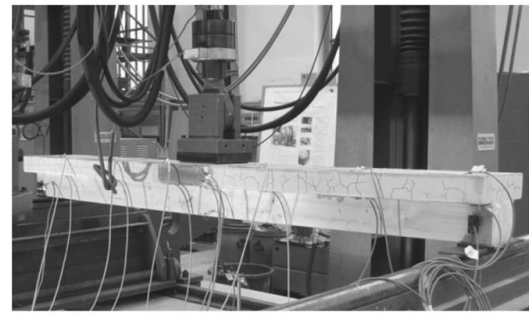
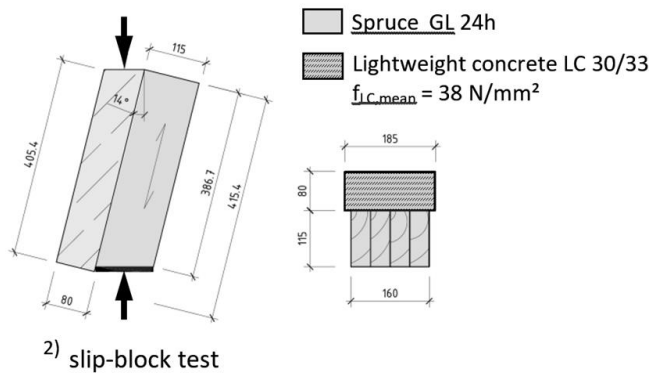
Zu geklebten HBV-Decken wird seit längerer Zeit wenig aber erfolgreich geforscht. Im Prinzip sind dabei zwei Klebverfahren zu unterscheiden.

Nass-in nass-Verklebung

Bei der nass-in-nass Klebetechnologie wird der Beton direkt auf den noch feuchten, reaktionsfähigen Kleber gegossen. Nach Wissen des Verfassers werden dazu nur zweikomponentigen Epoxid-Klebern eingesetzt. Übliche 1K oder 2K-PU-Kleber würden infolge der unvermeidbar hohen Betonfeuchte unkontrolliert aufschäumen. Veröffentlicht wurde zur Nass-in-Nass-Verklebung schon in den 70er Jahren von Pincus in den USA [5], Negroao in Portugal 2004 [6] und vor allem von Brunner in der Schweiz bis 2007 [7].

Die TU-Berlin forscht zur Nass-in-Nass-Verklebung mit Normalbeton und schon seit 2004 mit Leichtbeton (Zauft und Schmid [8][9]). Dazu wurde zunächst ein geeigneter Leichtbeton LC 30/33 mit der Wichte $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ entwickelt, mit dem Ziel eine möglichst hohe Zugfestigkeit zu erreichen, denn die Schubtragfähigkeit von unbewehrtem Beton wird direkt von seiner Zugfestigkeit bestimmt und nur indirekt von seiner Druckfestigkeit.

Die Tragfähigkeit des nass-in-nass verklebten Holz-Leichtbeton-Verbunds (HLBV) wurde zunächst im kleinen Maßstab mit Slip-Block Tests und anschließend mit 2,3 m kurzen Biegebalken untersucht. Damit wurde ein Schubversagen in der Verbundfuge provoziert. Anschließend wurden praxisgerechte 5,7 m lange HLBV-Träger getestet. Wie erwartet versagten diese ausschließlich auf Biegezug im Holz, lange bevor die Schubtragfähigkeit in der Fuge erreicht wurde. In den Kleinversuch trat der Bruch fugennah im Beton auf. Die erreichte Schubtragfähigkeit der 2K-Epoxid-Verklebung überstieg deutlich die Werte üblicher Verbindungsmittel (s. Abbildung 4). Sie ist in Abbildung 4 genähert als über die Schubfläche verschmierte, äquivalente mittlere Schubspannung τ_{mean} in N/mm^2 berechnet.



Bonded Connection	Notches	Screws
2 mm Epoxi light-weight concrete LC 30/33	normal-weight concrete	4 pairs of screws normal-weight concrete
$\tau_{\text{mean}} = 2,6$ ¹⁾ - $5,4$ ²⁾ $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$\tau_{\text{mean}} = 1,3 - 1,9$ $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$\tau_{\text{mean}} = 0,7 - 1,5$ $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Abbildung 4: Schubtragfähigkeiten aus Versuchen an nass-in-nass verklebtem Holz-Leichtbeton Verbund im Vergleich mit Ergebnissen aus Holz-Normalbeton Versuchen mit Kernen und Schrauben. Tragfähigkeiten ausgedrückt als äquivalente Schubspannungen $[\text{N}/\text{mm}^2]$ im Fugenbereich

Nachträgliche Verklebung von Betonfertigteileplatten mit Holz

Die zweite Möglichkeit besteht in der nachträglichen Verklebung von Betonfertigteilen mit Holzträgern. Dazu sind prinzipiell verschiedene Klebstoffe vorstellbar. Üblich sind Epoxid- oder PU-basierte Klebstoffe, mit einem Vorteil für die 2K-Klebstoffe, da diese in der Regel höhere Festigkeiten erreichen. Diesbezüglich sind die Forschungen von Seim in Kassel mit aufgeklebten Fertigteileplatten aus ultrahochfestem Beton zu erwähnen [10][11]. Hackspiel von der Holzforschung Austria berichtet in [12] von HBV-Decken, die zusätzlich mit einer elastischen Zwischenschicht verklebt werden. Die Zwischenschicht soll die im Hochbau entwerfsrelevanten Schallschutzeigenschaften der Decken verbessern.

Nachteilig für beide geklebter HBV-Bauweisen sind die hohen Anforderungen an die Umgebungsbedingungen während des Verklebens, wie die Einhaltung des erlaubten Temperaturbereichs, die Schmutzfreiheit und die vergleichsweise kurzen Aushärtezeiten der Klebstoffe. In der Praxis kann deshalb ohne großen Mehraufwand nur im Werk verklebt werden. Andererseits ist der Holzbau die Baubranche mit der größten Klebeerfahrung und baut schon lange erfolgreich und qualitätssicher mit großen, vorgefertigten Bauteilen.

An der TU-Berlin werden aktuell mehrere Forschungsprojekte zu verschiedenen Klebevarianten für HBV-Decken in Kombination mit Normalbeton untersucht. Normalbeton der Güte C20/25 bis C50/60 erscheint den Verfassern für die Verklebung von Brett-schicht-holzbalken oder Brettsperrholzplatten am sinnvollsten. Diese Betone sind überall erhältlich und preiswert. Zusätzliche Anforderungen an Decken bezüglich Brandschutz, Schallschutz und die Schwingungsbegrenzung erfordern eher dickere Plattenstärken von ca. 10-12 cm und eine große Masse, die solche Betonplatten aus Normalbeton umsonst liefern.

4. Forschung der TU-Berlin und Lignotrend zur neuen Granulatsplittverklebung von HBV-Decken

4.1. Neues Konzept zum Klebeverbund zwischen Holz und Beton

Eine neue Variante des geklebten Holz-Beton Verbunds wurde von der TU-Berlin zusammen mit der Firma Lignotrend entwickelt und in einem von der AiF geförderten ZIM-Forschungsprojekt untersucht. Bei dieser sogenannten Granulatsplittverklebung wird zunächst grober Splitt auf die Lignotrend-Deckenfertigteile geklebt und bis zur vollständigen Aushärtung gewartet. Auf die so vorbereiteten Holzelemente wird in einem zweiten Schritt der Frischbeton aufgebracht. Der Frischbeton verzahnt sich dabei mit dem aus der Klebeschicht herausstehenden Splitt und garantiert einen schubstarren, sehr tragfähigen Verbund. Der prinzipielle Aufbau der Verbundfuge ist in Abbildung 5 dargestellt.

Der besondere Vorteil der Granulatsplittverklebung besteht für den Holzbauer darin, dass er die Verklebung des Splitts witterungsgeschützt und unter sauberen Bedingungen im eigenen Betrieb durchführen kann. Ob der Beton im Werk oder später auf der Baustelle auf das besplittete Holzelement gegossen wird, hängt dann von den Randbedingungen ab.

Das Tragverhalten im Fugenbereich zeigt Abbildung 6a. Wird ein Klebstoff mit hoher Tragfähigkeit und ein geeigneter Splitt gewählt, tritt das Versagen oberhalb der Klebefuge im Beton ein, sofern ein üblicher Beton verwendet wird. Bei höheren Betonfestigkeiten, ab ca. C35, kann das Schubversagen im Holz erwartet werden.

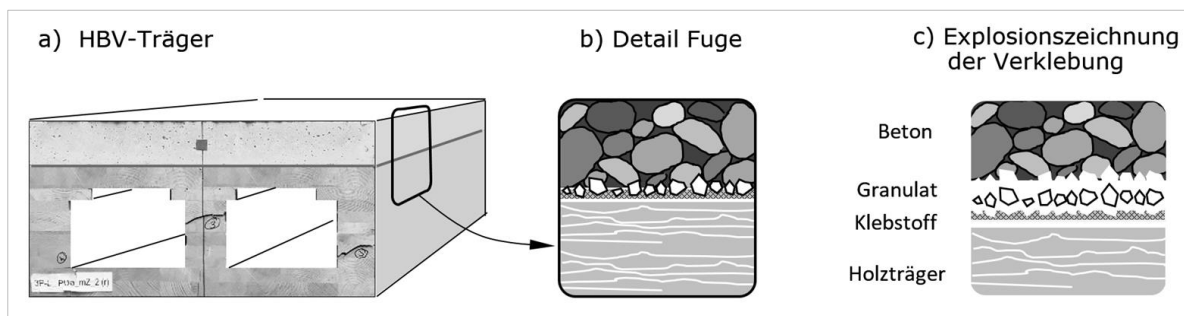


Abbildung 5: Prinzipskizze der Granulatsplittverklebung

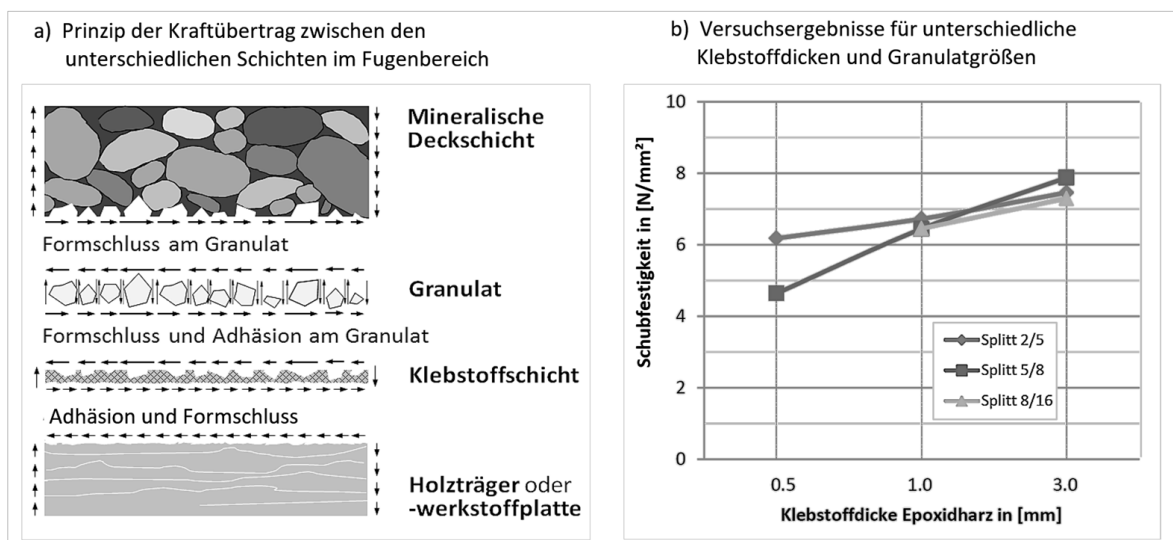


Abbildung 6: a) Tragprinzip Granulatsplittverklebung b) mittlere Schubtragfähigkeiten im Slip-Block Versuch mit Epoxidharz

Ob ein Versagen der Klebefuge auftritt und wenn ja, bei welcher Schubspannung, hängt vor allem von der Tragfähigkeit des verwendeten Klebstoffs ab. Abhängig von der Ausführung der Verklebung und der Beton- und Holzqualität ist auch ein kombiniertes Versagen im Holz, Beton und der Fuge zu beobachten.

4.2. Forschungsergebnisse zur Granulatsplittverklebung

Die vier das Verbundsystem konstituierenden Werkstoffen Beton, Granulat, Klebstoff und Holz ergeben mit ihren unterschiedlichen Parametern eine Vielzahl an möglichen Kombinationen. Deshalb wurden zunächst zahlreiche Vorversuche an kleinformatigen Probekörpern durchgeführt um eine zuverlässige Verbundtechnologie zu entwickeln.

Als Klebstoff kamen ein 2K-Epoxidharz, ein 2K-Polyurethan (PU) und mehreren 1K-PU-Klebesysteme zur Anwendung. 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. Die Versuche mit Korngrößen bis 16mm wurden nicht weiterverfolgt. Während die Holzqualität mit Fichte in C24 oder GL24 nicht variiert wurde, wurde das baupraktische Spektrum des Normalbetons in unterschiedlichen Varianten getestet.

Die mit 2K-Epoxidharz verbundenen Probekörper versagten durchweg spröde außerhalb der Fuge 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 (Abbildung 6b Mittelwert aus 5 Versuchen, 3mm Fugendicke). Ab Bruchspannungen von ca. 6 N/mm^2 bis 7 N/mm^2 trat das Schubversagen im Holz auf. Alle Serien hatten nur geringe Streuungen von i.d.R. unter 10%. Die höchsten Festigkeiten lieferten Klebstoffdicken von 3 mm, mit nur geringfügig kleineren Werten für 1 mm. Die Splitt-Sieblinien 2/5 und 5/8 erreichten nahezu identische Tragfähigkeiten. Wegen der besseren Baustellentauglichkeit wurden die Untersuchungen mit einem gebrochenen Edelsplitt der Sieblinie 2-5 mm fortgesetzt.

Die Versuchsserie in Abbildung 7, mit unterschiedlichen Betongüten und einer Verklebung mit 2K-Epoxidharz, zeigen, dass nicht die Klebefuge die Schubtragfähigkeit limitiert. Bis zu einer Festigkeit von C35/45 kam es ausschließlich zum Versagen im Beton. Bei den darüber liegenden 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 dafür Bruchspannungen τ_{mean} zwischen $0,8$ und $5,6 \text{ N/mm}^2$ ermittelt.

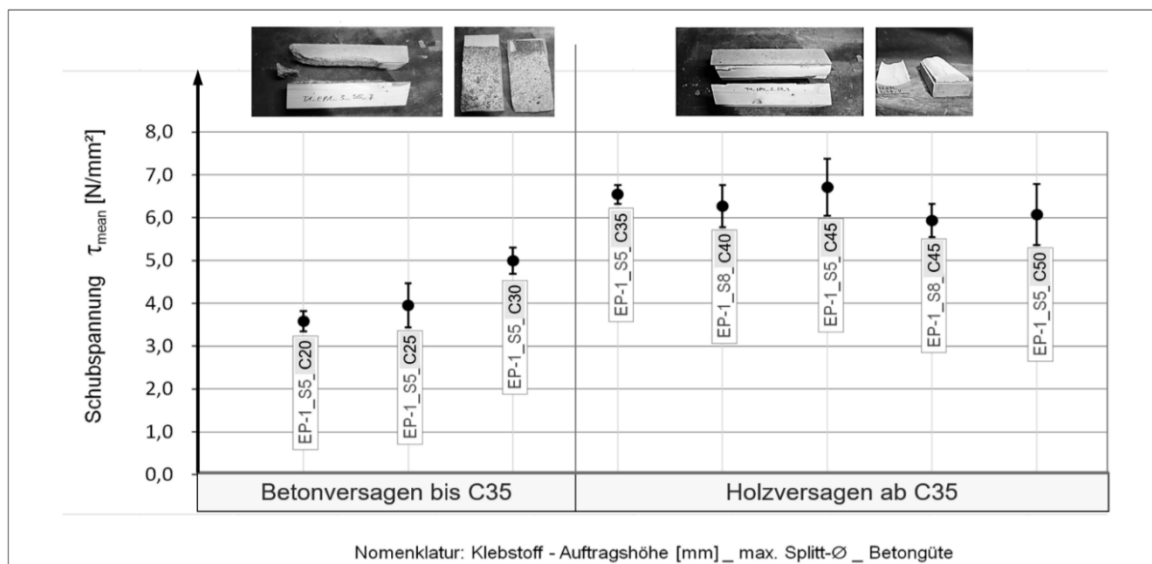


Abbildung 7: Beispiel Schubfestigkeit bei Slip-Block-Versuchen: 1 mm Epoxidharz, maximaler Granulatsplitt, maximaler Splitt-Durchmesser 5 und 8 mm, Betongüten zwischen C20/25 und C50/60

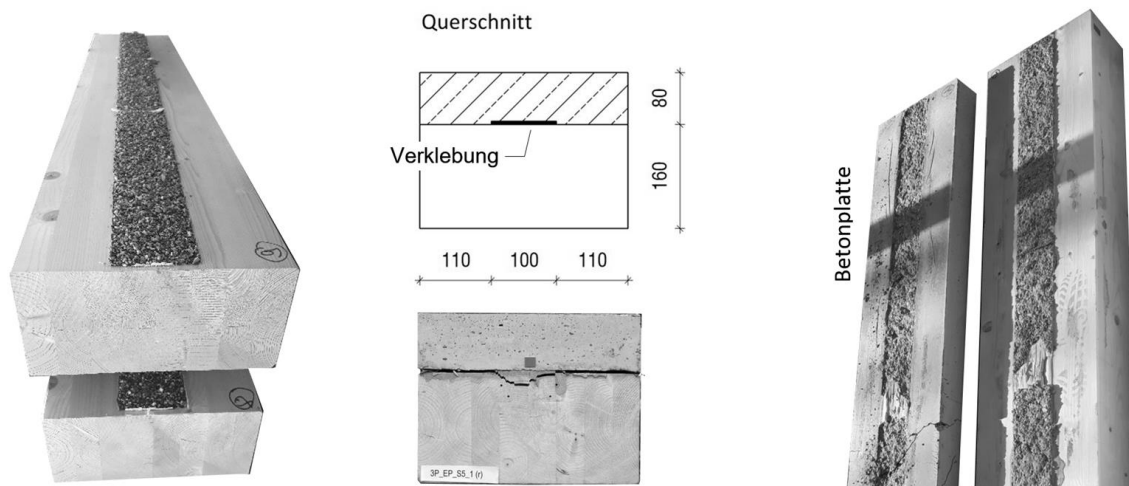


Abbildung 8: Kurze Biegeträger mit schmaler Fuge: Links: Vor dem Betonieren. Rechts: Nach den Versuchen mit Beton- und Holzversagen. Das Bild zeigt vorwiegend Betonversagen

Um den positiven Einfluss des Querdrucks auf die Holz- und Betonfestigkeit und damit die zu hohe Fugentragfähigkeiten auszuschließen, wurden weitere Versuche an kurzen Balken durchgeführt, analog zu den Untersuchungen beim Leichtbeton. 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 8). Es wurden Varianten mit 2K-Epoxidharz und 1K-Polyurethan bei einer Splittgröße von 2-5mm untersucht.

Alle Serien erreichten Schubfestigkeiten in der Fuge von ca. $5,3 \text{ N/mm}^2$. 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.

Zur Untersuchung der Schubfestigkeit der neuen Granulatsplittverklebung in Verbindung mit den vorfabrizierten Hohlkastelementen der Fa. Lignotrend wurden zusätzlich Dreipunkt-Biegeversuche an kurzen Balken mit den Abmessungen $L \times B \times H = 190 \times 62,5 \times 31,3 \text{ cm}$ mit einer Betonplattendicke von 8 cm durchgeführt (Abbildung 9). Die Balken versagten alle ausschließlich auf Schub im Bereich der schmalen Holzstege bei rechnerischen Schubspannungen um $3,2 \text{ N/mm}^2$. Die sehr viel breitere Verbundfuge blieb bei allen Versuchen unversehrt. Offensichtlich ist in dem vorliegenden HBV-System die Verbundfuge selbst nicht bemessungsrelevant.



Abbildung 9: Kurze, gedrungene Lignotrend-HBV-Träger nach den Drei-Punkt Biegeversuchen zum Test der Schubtragfähigkeit: Immer Schubversagen im Holz der Stege

5. Erstes Pilotprojekt mit Granulatsplitt verklebten HBV-Decken

5.1. Planung des Pilotprojekts

In der Schweizer Gemeinde Sissach, im Umland von Basel gelegen, wurde ein zwei-stöckiger Neubau eines kommunalen Doppelkindergartens in Holzbauweise geplant und realisiert (Abbildung 11). 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 eine HBV-Decke mit einer maximalen Spannweite von 7,30 m vor, mit einem Querschnitt aus 14 cm Beton auf 16 cm Massivholz (exkl. der zusätzlichen 5,5 cm Akustikbekleidung) und eine Kervenverbindung. Als Alternative wurde zunächst ein Lignotrend Element von 24,9 cm Höhe (inkl. Akustikpanel 3,2 cm), ebenfalls 14 cm Aufbeton und eine Verbindung durch Verschraubung geplant. Das neue Verbundsystem mittels Granulatsplittverklebung konnte als Sondervorschlag des Ausführenden eingebracht werden. Damit ergab sich ein Querschnitt aus 10 cm Aufbeton und einem 28,9 cm (inkl. Akustikpanel 3,2cm) hohen Lignotrend Hohlkastenelement.

Für diese erstmalige praktische Anwendung des neuartigen Klebeverbundsystems 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 Nachweise der Gebrauchstauglichkeit, also die Anfangs- und Endverformungen sowie das Schwingungsverhalten, wurde die 10 cm starke Betonschicht als starr mit dem Holz verbunden in Ansatz gebracht und die Nachweise mit dem gesamten Verbundquerschnitt gerechnet. Das Holzelement allein hätte dazu nicht ausgereicht. So ergaben sich mit dem etwas überdimensionierten Querschnitt rechnerisch Durchbiegungen von $l/1000$ im Anfangszustand und $l/550$ unter Berücksichtigung des Kriechens. Der Schwingungsnachweis wurde mit einer rechnerischen Eigenfrequenz von 7,2 Hz in Zusammenhang mit der Erfüllung des Steifigkeits- und Beschleunigungskriteriums nachgewiesen. Nachträgliche Messungen am Bauwerk bestätigten die rechnerischen 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 des Systems kann ausgeschöpft werden, wenn auch die Standsicherheit mit dem starr verbunden HBV-Querschnitt berechnet wird. Dann genügt eine Gesamthöhe von 32,2 cm (inkl. Akustikpanel) bei einer Betonschichtstärke von 8 cm. Dieser Querschnitt wurde so im Versuchsstand der TU Berlin erfolgreich getestet. Unter Ansatz des geklebten Verbunds ist damit eine Verringerung der Bauteilhöhe von mind. 6 cm gegenüber der Ausführungsvariante möglich.



Abbildung 10: Fertigung: Lignotrend-Element vor und nach dem Auftrag der Splittverklebung © Lignotrend

5.2. Ausführung

Alle Hohlkastenelemente wurden inkl. der vollflächigen Splittbestreuung werkseitig vorgefertigt und zur Baustelle geliefert (Abbildung 10 und 11). Die Bewehrung sowie die Betonplatte wurde mit Transportbeton bauseits hergestellt. Zur Produktionskontrolle und Qualitätssicherung wurden kurze Biegebalken erstellt, die den gleichen Fertigungsweg, inkl. der Betonage auf der Baustelle, durchliefen und später werksintern geprüft wurden. Für die Montage konnten die ursprünglichen Vorgaben der Tragwerksplaner von Pirmin Jung zur Zwischenstützung, zur Überhöhung und zur Bewehrung der Betonplatte ohne Änderungen übernommen werden. An dem in der Betonschicht geplanten Leitungsverzug der Haustechnik konnte ebenfalls ohne Änderung festgehalten werden.

Bei der Montage der Deckenelemente wurde eine temporäre Zwischenstützung an den Drittelpunkten eingerichtet. Diese diente der Herstellung einer Überhöhung von 10 mm zur Vorwegnahme der Verformung aus Eigengewicht und nahm die Lasten aus dem Frischbeton bis zum Aushärten des Betons auf.

Nach dem Verlegen der Holzelemente wurden die Stöße mit Koppelbretter verbunden und die werkseitig vorbereiteten Folien (s. Abbildung 10) wasserdicht verklebt. Die Deckenfläche war damit kurz nach dem Verlegen ohne weitere Maßnahmen vor der Witterung geschützt. Der Betonbauer fand somit nach dem „besenreinen“ Säubern mit einem üblichen Baustellensauger eine ebene, feste, besplittete Fläche vor, die den sonstigen mineralischen Umgebungen im Betonbau ähnelt. Beim Verlegen des Stahls und dem Betonieren konnten die üblichen Routinen aus dem Betonbau ohne Einschränkung genutzt werden. Insbesondere war keine besondere Rücksichtnahme auf Verschraubungen oder Kerben notwendig, die sonst beim Betonieren Einschränkungen der Laufwege bedeuten, bzw. Gefahr laufen, beschädigt oder krummgetreten zu werden.

Nach Fertigstellung war der Ausführende vom schnellen und problemlosen Bauablauf des Pilotprojekts so überzeugt, dass er das System gleich für weitere Bauvorhaben anfragte.



Abbildung 11: oben: Doppelkindergarten Sissach, I.: Ansicht r.: Holzlage der HBV-Decke © Beer Holzbau AG
unten: Bewehrte Granulatsplitt-Rohdecke vor und während der Betonage © Lignotrend

6. Zusammenfassung

Der kurze Überblick über die bis heute vorhandenen Forschungsergebnisse zum geklebten Verbund zwischen Beton und Holz bestätigt die Leistungsfähigkeit dieser Verbindungstechnologie in Kurz- und einigen Langzeituntersuchungen. Als neue Verbindungsvariante wird hier die Granulatsplitt-Verklebung vorgestellt, die von der Firma Lignotrend zusammen mit der TU-Berlin entwickelt und erforscht wurde. Sie hat den Vorteil, dass damit der Verbund zwischen Beton und Holz sowohl im Werk als auch auf der Baustelle qualitätssicher ausgeführt werden kann. Der Versagensmechanismus wird vom entwerfenden Ingenieur durch die Wahl der Beton- und Holzgüte, sowie der Klebstoffqualität definiert. Beispielsweise tritt im Schubtest für die 2K-Epoxid-Verklebungen von Holz C24 oder GL24 mit Betonklassen bis C35/45 durchweg Betonversagen auf. Andererseits wird für die praktische Anwendung, mit für HBV-Konstruktionen typischen Spannweite, die Tragfähigkeit immer vom Biegezugbruch im Holz bestimmt werden, lange bevor die Schubtragfähigkeit in der Verbundfuge erreicht ist.

Die Forschungspartner TU-Berlin und Lignotrend danken dem Bundesministerium für Wirtschaft für die Unterstützung der Forschung im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM). 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.

7. Literatur

- [1] Abrahamsen, R.: Mjøstårnet – Construction of an 81 m tall timber building. 23. Internationales Holzbau-Forum IHF 2017, Garmisch. Forum Holzbau (2017)
- [2] DIN EN 1991-1-4 Allgemeine Einwirkungen - Windlasten. (2010). Beuth Verlag
- [3] Smith, R.; Wilford, M.: Damping in tall buildings - uncertainties and solutions. IABSE Conference Chicago, IABSE 2008
- [4] Schmid, V.; Nettekoven, T.; Sutter, M.: Hochhäuser in Holzbauweise – Konstruktions-prinzipien, dynamisches Verhalten, Verbundbau. 24. Internationales Holzbau-Forum IHF 2018, Garmisch. Forum Holzbau (2018)
- [5] Pincus, G.: Behaviour of Wood-Concrete Composite Beams. Journal of the Structural Division, Proceedings American Society of Civil Engineers, (1970), S. 2009–2019
- [6] Negrao, J. H., Oliveira, F. M., Oliveira, C. L.: Investigation on Timber-Concrete Glued Composites. 9th World Conference on Timber Engineering, Portland, (2006)
- [7] Brunner, M., Romer, M., Schnüriger, M.: Timber-concrete-composite with an adhesive connector (wet on wet process). Materials and Structures 40 (2007), S 119-126
- [8] Zauft, D.: Untersuchungen an geklebten Verbundkonstruktionen aus Holz und Leichtbeton. Dissertation. Heftreihe des Instituts für Bauingenieurwesen TU-Berlin, Shaker Verlag (2014)
- [9] Zauft, D.; Schmid, V.; Polak, M. A.; Bonded Timber-concrete composite floors with lightweight concrete; World Conference on Timber Engineering; TU Wien, (2016)
- [10] Schäfers, M.; Seim, W.: Geklebte Verbundbauteile aus Holz und hoch- bzw. ultrahochfesten Betonen. Bautechnik 88 (2011), Heft 3, S. 165 – 176
- [11] Mérono, M; Seim, W. et al.: Innovative Heißklebung von tragenden Holz-Beton-Verbundelementen. Adhäsion Kleben & Dichten (2019), Volume 63, S. 30–34
- [12] Hackspiel, C.: Verklebung als Verbund für Holz-Beton-Deckensysteme. 1. Holzbau Kongress Berlin (DHK) 2020, Forum Holzbau (2020), S. 31 - 39

Haut Amsterdam – a 21-Storey Timber Residential Building

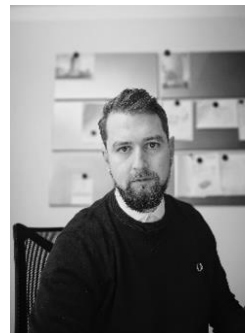
Rob Verhaegh
Arup
Amsterdam, the Netherlands



Matthias Rinnhofer
RWT plus ZT GmbH
Vienna, Austria



Andreas Wemmer
ASSMANN BERATEN UND PLANEN
Hamburg, Germany



Haut Amsterdam – a 21-Storey Timber Residential Building

ABSTRACT

This paper reflects on the structural design and engineering of Haut; a 21-storey high-end residential development in Amsterdam, the Netherlands. The authors are the structural engineer in the general design team, and the structural engineers advising the subcontractors responsible for the structural timber.

Construction of the building started in 2019 and is in progress at the time of writing. Upon completion in the autumn of 2021, building will have reached a height of 73 m, making it the highest timber structure in the Netherlands. It contains some 14.500 m² of predominantly residential functions. It features a hybrid concrete-timber stability system and concrete-timber floor panels. This paper describes the concepts behind the structural design and detailing for Haut and will touch upon the main challenges that have arisen from the specific combination of characteristics of the project. The paper describes the design of the stability system and -floor system, the analysis of differential movements between concrete and timber structures and wind vibrations. In addition, the most important connections are described in detail.

The paper aims to show how the design team has met these specific challenges by implementing a holistic design approach and integrating market knowledge at an early stage of the design. It also shows how the conceptual design has been translated into practical and buildable structure.

1. Introduction

Haut is a 21-storey residence, located in Amsterdam, the Netherlands. It has a height of 73 m, making it the tallest timber building in the country, and incidentally one of the tallest in the world. In addition, it will be the first residential high-rise project to achieve a BREEAM outstanding classification in the Netherlands. The project is the result of a design competition initiated by the municipality of Amsterdam, in which sustainability aspects were highly appreciated in the scoring. This challenge was met by proposing a design that prioritizes the use of (mass) timber structural elements over other structural materials, thus minimising the structures embodied carbon.

The competition was organised in January 2016, and the start of construction was in 2019. At the time of writing, construction of the structure is finished, the building will open in the autumn of 2021. The project was commissioned by the Amsterdam based developer Lingotto. Arup provided all technical design services for the project, including structural engineering, building physics, fire safety, sustainability and building services. Team V is the architect for the project. The main contractor is JP van Eesteren, working with Brüninghoff for the assembly of all timber structures. Brüninghoff is advised by both Assmann Beraten und Planen and RWT plus for the engineering of the (hybrid) timber elements. This paper is authored by the structural engineers involved at Arup, Assmann and RWT plus, thus looking to give a comprehensive overview of structural design principles and engineering.



Figure 1: Construction site in July 2021

This paper provides a high-level description of the choices that were made during the design, the design and engineering challenges and the structural solutions. In this process, it has become evident that each of these choices were influenced by three central characteristics of the project: the height of the building, its residential function and the conscious decision to use mass timber as much as possible. The goal of this paper is to explain the answers that have been formulated to these technical challenges for Haut, in order to further develop existing knowledge on timber high-rise projects. In this way, the authors hope to contribute to further development and innovation in the use of mass timber in large scale and tall building projects.



Figure 2: Artist impressions (source: Team V / Zwartlicht)

2. Design concepts

2.1. General concepts

The plot for Haut is located alongside the Amstel river at the edge of Amsterdam's city centre. The beautiful views that a high-rise project at this site can provide for its residents have been considered a prime quality from the very start of the design process. The architectural concept of Haut therefore relies on façade transparency, providing residents with lots of daylight, and unobstructed views of the city and countryside. Due to the project's high sustainability- and quality ambitions, mass timber was considered the most suitable option for this development. The choice for timber as a structural material leads to a significant reduction of the buildings embodied CO₂-footprint, compared to a similar development in any other structural material. By exposing the structural timber in the building's ceilings, the aesthetic qualities of the structure are incorporated into the architecture.



Figure 3: Artist impressions (source: Team V / Zwartlicht)

2.2. Structural concepts

In order to accommodate the desired unobstructed views, a load-bearing façade structure was ruled out at an early stage. Timber high-rise typologies relying on braced frames or CLT-panels in the façade were therefore not an option. The structural design relies on internal load bearing walls, which may function as separation-walls between residences as well. Floors consist of prefabricated timber-concrete composite (TCC) panels, which are supported on top of the CLT load bearing walls. Wherever the floor edges are not supported by a load bearing wall, glulam downstand beams are introduced. These beams are designed to transfer façade- and balcony loads and provide additional stiffness to the floor. They double as a tension ring around the perimeter of the floor, transferring diaphragm forces and acting as a structural tie. All residences have balconies extending beyond the façade, which are designed to be attached to the floor edges using steel brackets with thermal breaks. This allows the contractor to first apply the façade, minimizing the time the timber structure is exposed to weather influences. The apartments in the 'wedge-shaped' north part of the building feature cantilevering floors. These floors are realised with steel- and concrete edge beams, supported by two concrete columns. An alternative in timber would require large members, compromising the unobstructed views from these corner apartments.

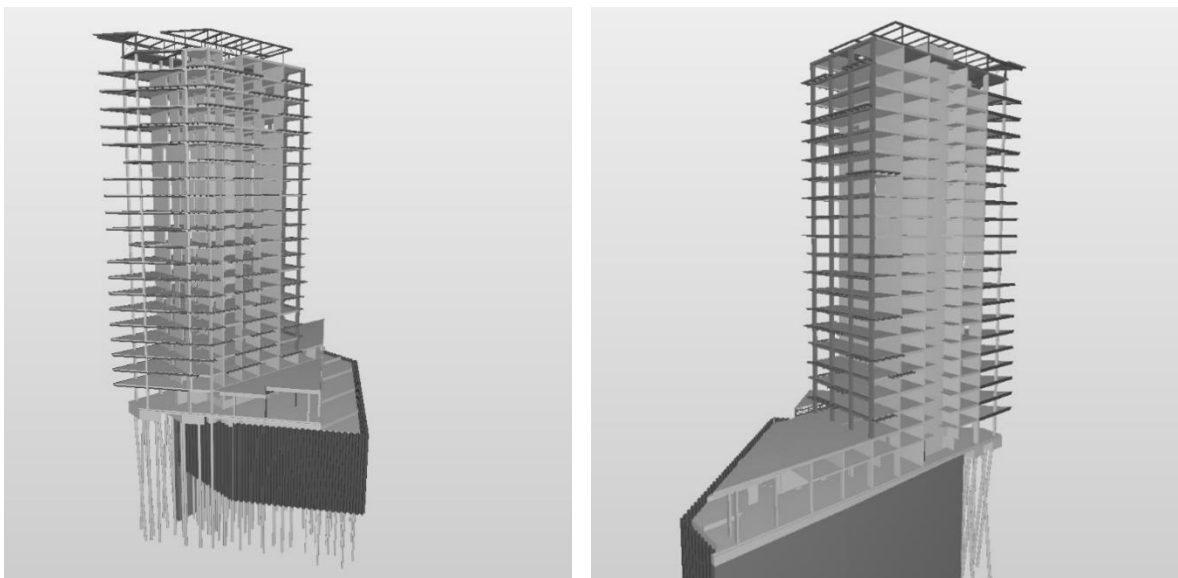


Figure 4: Building Structure (source: Arup)

The substructure consists of a two layer basement, the ground floor and first floor, which have been constructed in concrete. This provides a robust 'plinth' supporting the timber tower. From the first floor upwards, the gravity system consists of load bearing timber walls supporting the TCC floors, spanning in one direction. The lateral stability is provided by a concrete core and two CLT walls, which help to resist torsional effects resulting from wind loads.

The foundation design consists of ground displacing steel screw grout injection ('Tubex') piles. In addition, a load bearing diaphragm wall was required along the edge of the building plot. The foundation design was mainly governed by stiffness demands, and heavily influenced by the local soft soils, the presence of a pre-existing embankment and data cables which could not be moved.

3. Design challenges

3.1. Stability system

Design

Keeping the projects ambitions in mind, the stability system was designed to leave the facades unobstructed. Initial studies showed that this ruled out the possibility of a full timber stability-structure, as the internal wall dimensions were insufficient to provide sufficient lateral stiffness. Two hybrid options were explored in parallel during the early stages of the design: a steel-timber hybrid and concrete-timber hybrid lateral stability system. The steel-timber hybrid system was based on CLT shear walls combined with a single steel braced frame, where the concrete-timber hybrid system relied on the same CLT walls, combined with a concrete core.

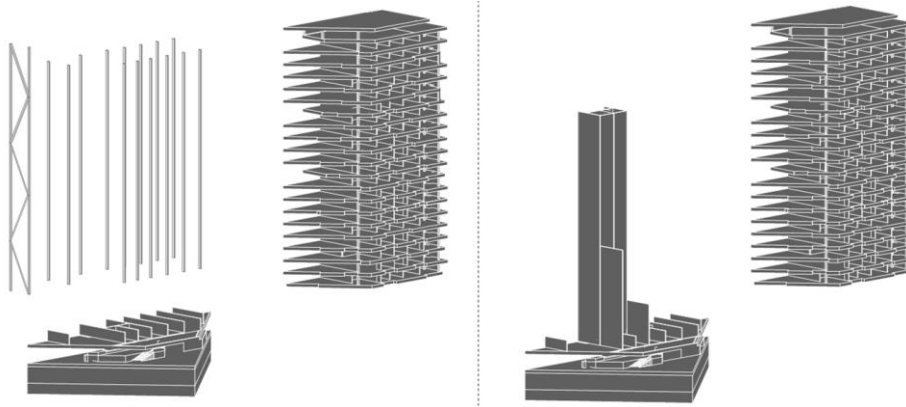


Figure 5: Stability system, steel-timber hybrid (left) and concrete-timber hybrid (right)

The main design challenges in the steel-timber scheme were twofold, and related to the lateral stiffness of the CLT shear walls. Although the stiffness of CLT itself is comparable to (cracked) concrete, the stiffness of a CLT wall consisting of multiple panels is highly influenced by its panel-to-panel connections. It was estimated that using typical connectors would reduce the global stiffness of the wall by some 70%. The proposed solution to this issue consisted of the implementation of a full height steel tie along the height of the wall. The second challenge resulted from functional demands of residential architecture; the architectural plans demanded a number of penetrations through the stability walls. Typically, no stiffness is attributed to lintels in CLT walls, as their moment capacity is insufficient for adequate coupling of walls. Therefore, a series of wall penetrations positioned directly above each other would have seriously compromised the global stiffness of the walls. This issue was resolved in close collaboration with the architect, placing wall penetrations in a 'staggered' pattern (see figure 6). This approach ensured the wall elements would function as a single -coupled- wall, rather than two separate -and therefore much weaker- individual walls.

The concrete-timber lateral stability system consists of a slender concrete core, and two CLT shear walls. A specific challenge in the design of this alternative was that for architectural reasons, the concrete core could only be placed eccentrically in the plan. This eccentricity introduces torsional effects under wind loads, increasing lateral deflections and wind induced vibrations. To reduce these effects, the load bearing CLT walls are designed to be part of the stability system. For the same reason, the concrete core is stiffened by extending its 'flanges' up to a particular height (see figure 6).

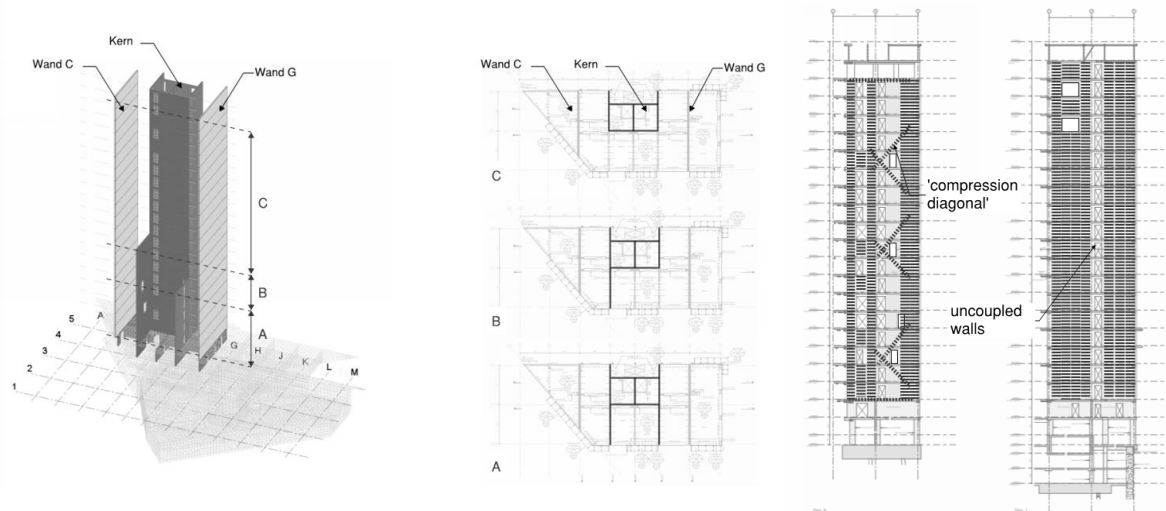


Figure 6: Lateral force resisting system (left) and elevation of CLT shear walls

After the preliminary design phase, the steel timber-hybrid was compared to the concrete-timber system. Based on this comparison, the design team reached the conclusion that the concrete-timber hybrid would be the best fit for the project. This choice was driven by the following aspects:

- The concrete-timber alternative did not require a steel braced frame, providing flexibility in floor plans and reducing steel tonnage;
- The additional mass of the concrete core increased the performance of the structure with regards to wind induced vibrations and lateral deflections;
- The detailing of the steel strips in the steel-timber alternative was considered challenging and costly, as this would require a fully stiff tensile connection, while accommodating the shrinkage of the CLT walls;
- The embodied carbon of the concrete-timber alternative was considered lower, as the significant reduction in steel usage outweighed the adverse effects of the application of a larger volume of concrete.

Therefore, the concrete-steel hybrid system was not only perceived more feasible, but also more sustainable.

Analysis

The system is statically indeterminate, and lateral deflections are influenced by many factors. To determine expected maximum lateral deflections and perform sensitivity studies, two FEM-models were created.

The first model was a 3D-model of the entire lateral load-bearing system, including the concrete plinth, basement and foundations. The model was mainly used as a means of assessing total deflection and the sensitivity to stiffness of individual structural elements, including the foundations. In this model, the CLT shear wall is represented by a beam element with manually defined stiffness properties, allowing for an estimation of the influence of CLT material properties, connections and wall openings. To validate this estimated stiffness of the CLT wall, a second -more detailed- model was introduced.

The second model consists of a 2D-model of the CLT wall, including specific wall openings, orthotropic material behavior and locally reduced stiffness to allow for acoustical decoupling and connection details. The model was subjected to gravity loads and lateral loads taken from the 3D-model. Subsequently, the resulting deflection in the 2D-model was compared to the deflection in the 3D-model, allowing for a check of the initially assumed stiffness.

The stiffness of the CLT-walls depends on many factors, and although thoroughly analysed, there will be a margin of error in any prediction of it. In addition, there was no prior experience with CLT stability walls on this scale. Therefore it was decided to only rely on the CLT walls in the serviceability limit states (SLS). The core has been designed to transfer full wind loads in the ultimate limit states (ULS).

3.2. Wind induced vibrations

If Haut were to have a full concrete structure of similar height, wind induced vibrations would probably not be considered in the design process. After all, there is plenty of experience which such buildings to conclude that demands will be met, even without analysing these explicitly. Because Haut's hybrid structure is a lot lighter, wind induced vibrations were considered a risk and were investigated in detail.

With regards to wind-induced vibrations, the resulting accelerations at the top floor depend on stiffness, mass and damping of the structure. The first two aspects can be determined within a reasonable margin of error. The damping ratio is more difficult to predict. Due to the innovative character of high-rise structures in timber, and the large differences between structural system of the realised projects, the available data does not offer a definitive insight into appropriate damping values. For this project, a value of 1,5% structural damping was adapted for purposes of checking the wind-induced vibrations. The design team plans to measure accelerations in the autumn of 2021.

To calculate the expected maximum accelerations due to wind induced vibrations, a modal analysis was performed on the 3D-model of the structure described earlier. The dominant fundamental periods were determined, both represented orthogonal modes. It was of importance to prevent a dominant torsional mode, as this would dramatically increase accelerations at the top floors. Based on a number of sensitivity studies, an upper bound for the governing acceleration was determined at 10 mg for a 1 year return period, using the method outlined in the NBCC [1]. This acceleration complies with the demands as stated in the Dutch national annex to Eurocode 1990 [2].

The calculated vibrations were sensitive to the mass of the building. This was one of the most important motivations for choosing the specific floor build-up that is used in Haut.

3.3. Floor build-up

The floors play a critical role in Haut's design, as they are key to the construction sequence, the stability system and many of the strict comfort criteria that were expected to be met for the residential units in Haut. In addition, the ambition was to leave the structural timber exposed where possible for architectural reasons. The floor system that was deemed to meet these requirements best, was a prefabricated timber-concrete composite (TCC) floor. This type of floor consists of a CLT plate (160 mm), with a concrete top layer (80 mm). In this build-up, the two layers collaborate as a hybrid system in which the CLT takes tension forces, and concrete takes the compression. Shear between the two layers is transferred by means of a series of notches, that are milled out of the CLT. The ratio between CLT and concrete is adjusted in some cases, to allow for thinner floors where these are required, for example to accommodate thermal insulation in loggia's or to allow for the integration of services. In this way, the floor system provides flexibility to allow for local deviations in the architectural design.

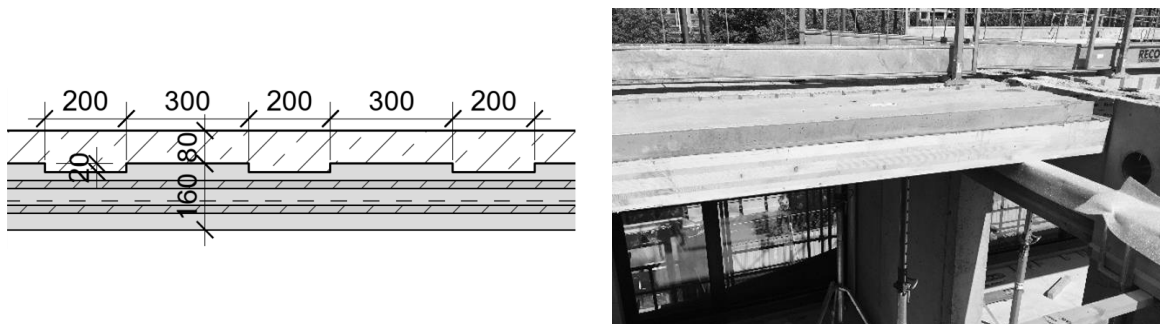


Figure 7: Floor build-up

Another reason for choosing a TCC floor over a full CLT plate is its mass. This additional mass increases acoustical performance, has a beneficial influence on footfall induced vibrations, and helps to increase performance with regards to wind induced vibrations as well. Extending the concrete layer to the full height of the floor at both load-bearing ends of the plate, allowed for a 'platform' type wall-to-floor detail. This has significant benefits to the construction sequence (see Figure 11).

The TCC-floor was calculated according to Rautenstrauch [6]. This framework model uses flexible bars with a hinge at the position of the shear joint in order to simulate the flexibility of the connection between CLT and concrete. The slab was checked for initial loading and checked considering long-term effects such as shrinkage and creep in both the timber and concrete. An additional 3D-FEM calculation was executed for some of the critical elements, in order to verify the results.

In this way it was proved that no structural screws are needed in order to prevent the concrete from uplifting, and that there will be no gap between CLT and concrete due to uplifting forces. It was already shown in Michfelder [5] that vertical screws have no global effects on the load-bearing mechanism of a TCC-slab. The same principle has been applied in other high-rise projects such as HoHo Wien [8]. In this project, the floor deflections were measured and used to confirm the initial calculations.

In Figure 7 the remaining cross section of the CLT plate after a fire of 90 minutes is shown with a dashed red line. The charring was considered in the structural calculation but did not lead to a governing situation for the standard TCC elements. The dimensions of the slab were driven by the footfall requirements and the serviceability limit state for quasi-permanent loads.

The resistance of the notches itself were checked by the different failure mechanisms determined according to Schönborn [7]. Because the notches are milled over the whole width of the TCC slab without any negative influences, their capacity is very high and the grade of utilization for shearing off in the CLT of a standard element is limited to ca. 40%. The other investigated failure mechanisms are compressive strain in CLT, shearing off in concrete and compressive strain in concrete.

The main challenge when it came to detailing the floors were the integration of acoustical- and structural design aspects. To achieve proper diaphragm action in the floors the individual plates are connected in-plane. Due to the low mass of the floors and walls, it is important to acoustically decouple floors wherever they cross separating walls between residences. To resolve this problem, several solutions were considered before the final design was determined. Based on preferences related to constructability, the contractor came up with an optimization for the initial detailing, in which the floor gets divided into multiple diaphragms, one for each residence on each floor as shown in Figure 8. All of these sub-diaphragms are connected to the structural core and CLT stability walls but remain largely decoupled from each other. Along the perimeter of the floor diaphragm, a ring beam ensures, that the separated diaphragms act as one under wind loads.

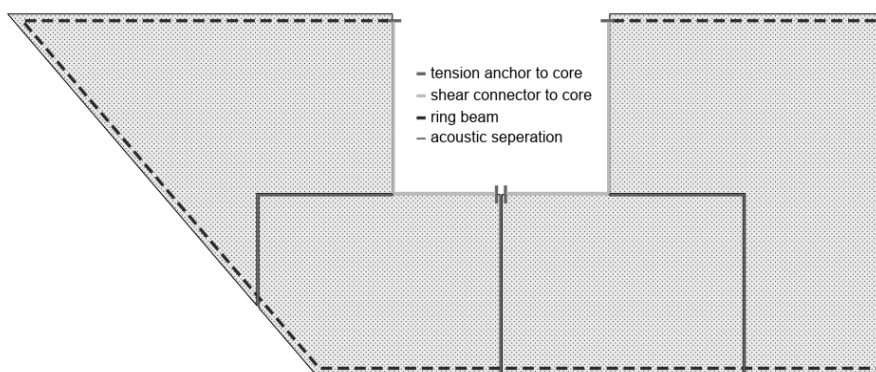


Figure 8: Diaphragm principle (source: RWT plus)

Each single diaphragm has at least one tension connection to the concrete core. The position of these connections, as well as the acoustical separations and the ring beam are shown in Figure 8 for a typical floor. The anchors at the core and the ring beam are connected by means of reinforcement bars placed in the joint between the TCC elements. The joint itself is a toothed-shaped connection to transfer shear-forces between the elements. The same principle is used for load introduction in the core, see Figure 10.

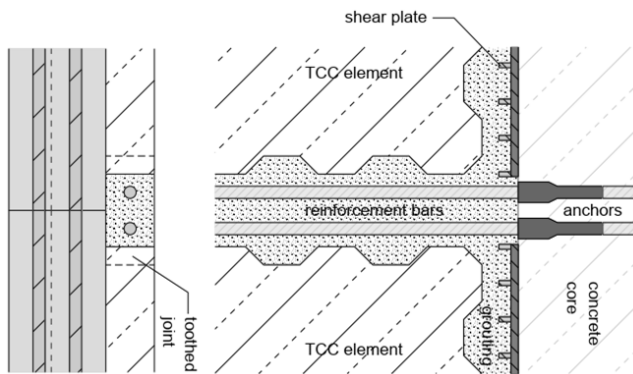


Figure 9: Joint between TCC-elements and core (source: RWT plus)

The TCC floors are supported at the concrete walls by means of a steel angle. The angle is placed above the floors, in order to create an invisible connection from underneath the TCC element. The connection was calculated for an accidental load case consisting of the debris loads of two additional floors, in order to prevent progressive collapse, as described in section 3.4.

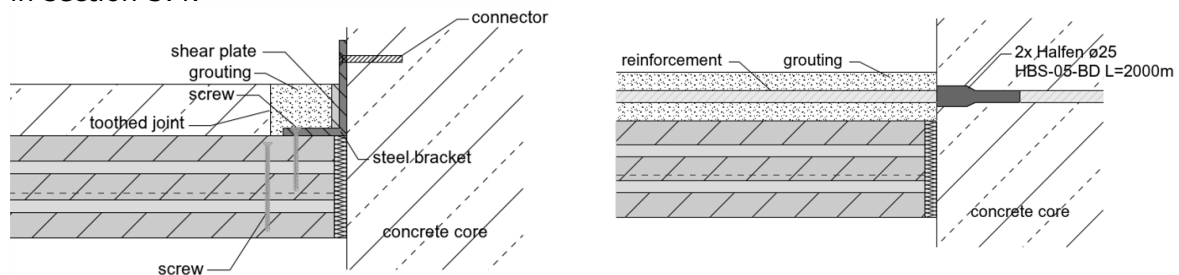


Figure 10: Left: Vertical support at core; Right: Horizontal anchors (source: RWT plus)

3.4. Floor-to-wall detail

The floor-to-wall detail can be considered the key detail in the superstructure. This detail influences a large number of aesthetic- and technical criteria, in addition to the speed of assembly.

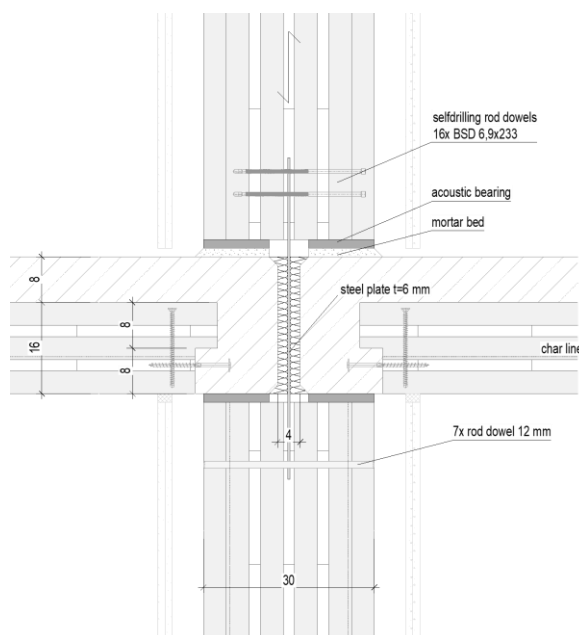


Figure 11: Floor-to-wall detail (source: Assmann)

Both the vertical and the horizontal load transmission of the forces in the TCC slabs must be ensured by this detail. Due to the large number of storeys, a direct support of the wooden part of the TCC-slabs is not possible in view of the low load-bearing capacity of

the wood perpendicular to the grain. To be able to transfer the vertical support forces, the concrete layer of the TCC-slab was continued at the floor to wall interface, in the form of a concrete 'end beam'. The resulting components of the vertical forces from the CLT part of the slab are introduced into the concrete end beam by screws at regular intervals. In this way, failure due to transversely loaded timber can be avoided. The vertical loads of the floor slabs are then transferred via the vertical lamella of the CLT walls into the end beam of the TCC-slab below, ensuring vertical load transfer over all floors.

Depending on the architectural floor plan for each specific storey, the detail may separate two or more apartments. To achieve the desired acoustic insulation (both vertical, lateral and diagonal), the transition from slab to wall must be decoupled wherever different apartments adjoin. The decoupling was achieved with elastomeric bearings, which were dimensioned depending on their position and load in the storey corresponding to their acoustic working range.

Another important design aspect for the detail is the demands following from Haut's robustness strategy. There are two demands that influence the details design. First of all, the building features vertical and horizontal ties. The horizontal ties are ensured by reinforced concrete edge beams at the outer edges of the floor slab. The walls form the vertical ties, and at the position of the detail these are realised by means of steel slotted plates in the centre of the CLT. These connect the lower CLT wall with the wall directly above. In the lower area of the wall, the slotted plate was already fastened by using rod dowels before assembly on the construction site. The connection to the upper wall element was then made with self-drilling rod dowels to be able to take up the necessary tolerances during the construction process. The slotted sheets (280 x 550 x 6) were required due to the anchoring force determined according to EC 1-7 per running meter of CLT wall on every main load-bearing component.

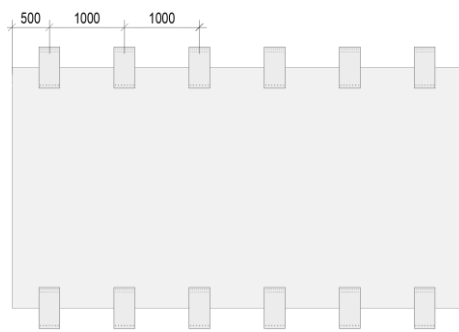


Figure 12: Wall element with position of slotted plates (source: Assmann)

The second demand on the detail is related to the imaginary removal of floor elements. If an accidental load causes a maximum of two floor slabs to collapse, the underlying slab elements were designed to withstand the debris load of the collapsed slabs. Due to the collapse of two floors, the CLT walls are now partly no longer held horizontally (Figure 13).

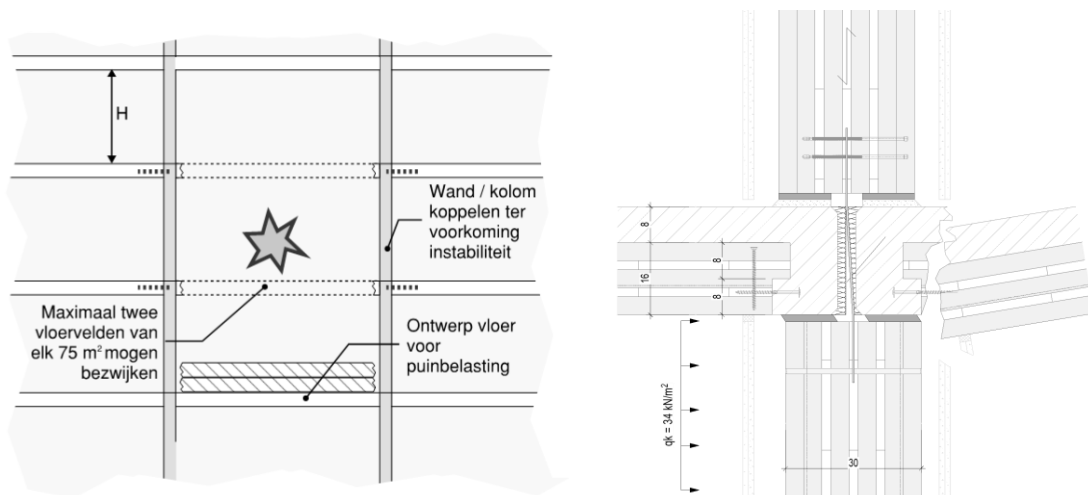


Figure 13: Robustness concepts

For this extraordinary load case, it was assumed that the failure will most likely occur at the weakest point of the slab element in the connection area of the wall. If the element fails for this fictitious load case, the concrete end beam of the TCC element will remain in place in between the walls. The support of the walls is therefore preserved. In the lower storeys, buckling from the wall plane is prevented by the high vertical loads. The slotted plate used to secure the vertical tension members has an additional function here. In the case that the vertical load is not sufficient to prevent a wall from buckling out of plane, the slotted plate serves as a horizontal support for the wall. The slotted plate has been dimensioned for a possible horizontal displacement. Plasticization of the sheet metal is allowed due to the exceptional load case and the failure criteria.

3.5. Differential movements

A number of floor fields are supported by a concrete wall on one side, and a timber wall or beam on the other. The difference in mechanical properties between these supporting elements will cause differential movements between the two. Although this issue is a common challenge in high-rise design, it would not be considered significant for a structure of this height, consisting of a single material. The combination of timber and concrete requires the issue to be studied in greater detail, despite the limited height of the tower. This was also acknowledged in the design of Brock Commons [3], in which some projections were done with regards to the expected differential movements. Similar studies were performed for Haut. Based on these studies, the -unmitigated- final axial shortening on the top floor of the two projects was determined. Haut was expected to experience slightly higher movements which were mainly attributed to the greater height of Haut and the more conservative assumptions on the moisture content of the CLT. Contrary to Brock Commons, Haut features load bearing walls rather than columns, which complicates the mitigation of these movements.

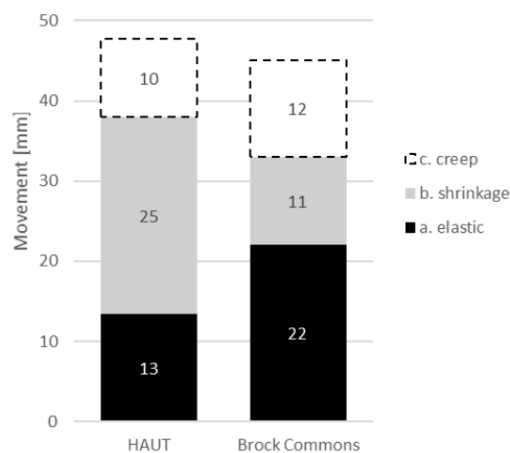


Figure 14: Expected Axial shortening of load bearing elements [3]

If the walls in Haut were to actually undergo a *differential* movement of the predicted magnitude of 48 mm, it would lead to various architectural and functional issues. However, that number does not include the movement of the adjacent concrete structural elements. To determine the maximum differential movement, the shortening caused by elastic-, creep- and shrinkage-effects were calculated for the course of the construction and lifespan of the building, for three governing spans in the building.

The occurring differential movements depend on many factors, and are expected to be subject to change during construction and over the course of the building's design life. Therefore two scenarios were analysed, the first of which represents a best estimate for the various starting points, the latter representing a worst-case scenario. For a number of positions, the expected movements were calculated over time, yielding a maximum value for differential movement at a certain point in time. From these analyses, a maximum differential movement of ca. 20 mm was determined between the core wall to the CLT wall, occurring at the 21st floor. This value is considered comparable to non-timber structures of similar height

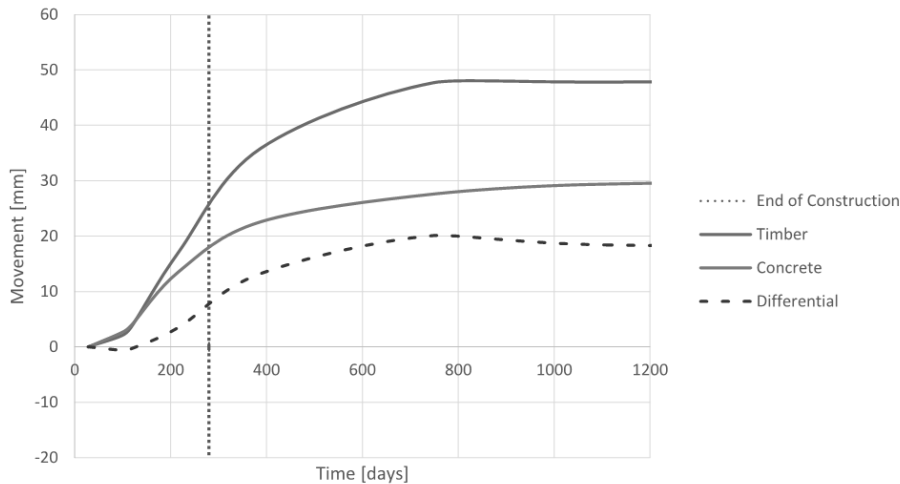


Figure 15: Differential movement over first 1200 days of design life

No requirements were found in relevant design codes. The design team decided to adopt a requirement of $\text{span}/500$, which is equal to the demands that the Dutch National Annex to Eurocode 1994 [4] describes for structural elements that support 'partition walls prone to cracking'. Although no such walls are envisioned, this demand seemed suitable due to the presence of brittle finishes (e.g. bathroom tiling).

In an unmitigated situation, the differential movements would not meet this criterion. Therefore, a number of changes were incorporated in the design with the sole purpose of limiting differential movements:

- To increase creep and shrinkage effect, the concrete core is constructed using in-situ concrete, rather than assembled from prefabricated concrete elements;
- Material of the columns at the cantilever in 'wedge' of the building were changed from steel to concrete, as the creep of concrete will partly offset the timber's shrinkage;
- Rotation is concentrated in lintel beam for load bearing walls adjacent to concrete core (see Figure 16)

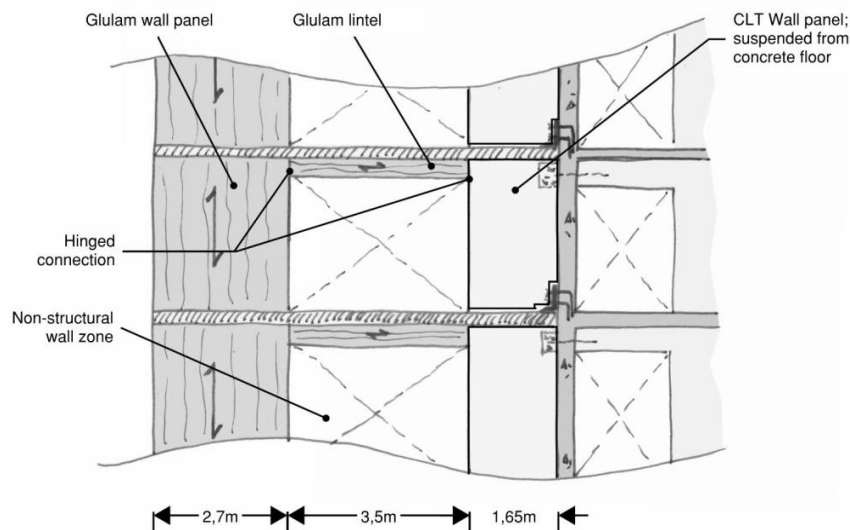


Figure 16: Overview of suspended CLT wall and lintel beam

As a result of these changes to the design, the issue of differential movements is considered entirely manageable by implementing techniques commonly used in construction. The moisture content in the timber elements will be monitored during construction, along with the occurring movements in these elements and the concrete core. The contractor has developed a protocol to mitigate possible deviations from permissible values, by slightly adjusting heights at which the timber elements are mounted.

4. Conclusions

Haut is an ambitious project, aiming to provide high quality for its residents. In addition, Haut is innovative in its choice of structural materials. This paper has provided an overview of the design principles that were developed to meet the projects high demands, and it describes the specific challenges the project has posed to the design team. These challenges find their origin in the specific combination of characteristics of the project: the height of the building, its residential function with open facades and the conscious decision to use timber structures wherever possible. It is the combination of these factors that shaped Haut's design.

Only a handful of timber structures of similar size and height has been realised at this point. Therefore, many aspects of Haut are unique. This has required an explorative attitude from all parties involved, and a holistic approach to the design. In the structural design, this attitude manifested itself in a high number of studies into various aspects. These studies often required a return to first principles, or reliance on expert knowledge pre-existing in Arup or industry partners.

Due to the immense positive influence a timber structure can have on a projects embodied carbon footprint, it is believed that timber is an inevitable alternative and/or supplement to the use of steel and concrete in modern construction. The design of Haut shows that challenges associated with building in this material can be overcome. At completion, the goal of designing a sustainable yet high-quality residential building will have been achieved, marking a new milestone in the development of mass timber high-rise structures. The knowledge that has been acquired in the design process will aid designers to recognise relevant design challenges in the early stages of design for future projects.

5. Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the vision of the developer Lingotto. In addition, we would like to thank Team V architecten, for the close collaboration and open mind that is essential for such a project. Finally, we would like to thank JP van Eesteren and Brünninghoff who are currently in the process of bringing Haut to realisation.

6. References

- [1] National Building Code of Canada, 2015
- [2] Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies", National Annex to NEN-EN 1990+A1+A1/C2: Eurocode: Basis of structural design, 2011
- [3] Fast P., Gafner B., Jackson R., Li, J: Case Study: An 18 Storey Tall Mass Timber Hybrid Student Residence at the University of British Columbia, Vancouver. In: World Conference on Timber Engineering, 2016
- [4] Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies", National Annex to NEN-EN 1991-1-4+A1=C2: Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General Actions – wind actions, 2011
- [5] Michelfelder, B., 2006. *Trag- und Verformungsverhalten von Kernen bei Brettstapel-Beton-Verbunddecken*. Universität Stuttgart: Dissertation.
- [6] Rautenstrauch, K., Grosse, M., Lehmann, S. & Hartnach, R., 2003. Baupraktische Dimensionierung von Holz-Beton-Verbunddecken. *6. Informationstag des IKI, Bauhaus Universität Weimar*.
- [7] Schönborn, F., Flach, M. & Feix, J., 2011. Bemessungsregeln und Ausführungshinweise für Schubkernen im Holz-Beton-Verbundbau. In: *Beton- und Stahlbetonbau 106*. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG.
- [8] Woschitz, R. & Zotter, J., 2017. Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept. *Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 162. JG., Heft 1-12/2017*.

Holzhochhaus HoHo Wien

DI Dr. techn. Richard Woschitz
Woschitz group GmbH
Wien, Österreich



Holzhochhaus HoHo Wien

Kurzfassung

Das entworfene Tragwerkskonzept für ein Holzhochhaus beruht auf einem massiven Aussteifungskern und einem modular vorgefertigten Holzbau bestehend aus Brettschichtholzstützen, Fertigteilträgern, Holz-Beton-Verbunddecken und Brettsperrholzwänden. Die Verbindung der Bauelemente erfolgt vorwiegend über Vergussmörtel und Bewehrungsseisen. Eine wesentliche Aufgabe bei der konstruktiven Durchbildung ist das Erreichen einer ausreichenden Robustheit des Gesamtsystems durch vertikale und horizontale Zugverankerungen. Aufgrund der im Endzustand sichtbaren Holzoberflächen spielten neben den statischen Anforderungen bei den Holzbaudetails auch schalltechnische Anforderungen eine Rolle.

1. Einleitung

In der Seestadt Aspern in Wien entstand im Oktober 2016 ein rund 84 m hohes Holzhochhaus. Von der Lage her befindet es sich direkt neben der im Jahr 2013 verlängerten U-Bahn-Linie U2 und dem künstlich angelegten See des neuen Stadtgebietes. Das Hauptgebäude besteht aus drei gekoppelten Bauteilen mit je 9, 15 und 23 Stockwerken und einem kleineren 5-stöckigen Nebengebäude. Das Hochhaus ist zweifach unterkellert und steht auf einer kombinierten Pfahl-Platten-Gründung. Aufgrund des angrenzenden Sees wurde die Baugrube mit einer dichten Schlitzwand hergestellt. Die Primärtragstruktur ist eine Kombination aus Aussteifungskern in Beton und ange-dockter Holzkonstruktion. Für den Holzbau selbst wurde eine einfache Tragstruktur bestehend aus drei Grundbausteinen gewählt: Deckenelement, Randträger und Stütze.



HOHO Wien

Die geschossweise Lastabtragung erfolgte über Holz-Beton-Verbund-Deckenelemente (Brettsperrholzplatten, Schubkerven, Aufbeton), welche auf einem umlaufenden Betonfertigteilträger aufgelagert sind. Ein schubsteifes Deckenfeld kann durch das nachträgliche Vergießen von Aussparungen im Aufbeton und durch Bewehrungsanschlüsse realisiert werden.



Musterbüro Foto: Cetus

Der als Durchlaufträgersystem ausgebildete Randträger liegt auf blockverleimten Brettschichtholzstützen auf, welche die Vertikallasten vom obersten Geschoss bis zum Kellergeschoss abtragen. Die außenliegende Wandausfachung besteht aus Brettsperrholzplatten mit bereits werkseitig eingebauten Fenstern und ist nicht Teil der Primärtragstruktur.



Primärtragstruktur mit Betonkern und angedockter Holzkonstruktion

2. Montageprinzip und Unterschied zum Betonbau

Das gewählte Montageprinzip (siehe Abb. a) spiegelt sich im sogenannten Systemknoten, der Verbindung von Stütze-Träger-Decke (siehe Abb. b), wider. Die einzelnen Bauteile können witterungsabhängig und qualitätsgesichert im Werk vorgefertigt werden. Der hohe Vorfertigungsgrad ermöglicht eine rasche, einfache Montage auf der Baustelle. Sowohl die Stützen als auch die Deckenelemente und Fertigteilträger wurden über Bewehrungsstäbe und lokale Aussparungen mit Vergussmörtel kraftschlüssig untereinander verbunden. Die somit geschaffenen Zugverankerungen verleihen dem globalen Tragsystem die nötige Robustheit.

Ein wesentlicher Unterschied der vorgefertigten Bauweise zum konventionellen Betonbau liegt in der schwierigeren Umsetzung dieser Robustheitsanforderungen. Die Ortbetonbauweise ermöglichte aufgrund der homogenen Bauweise mit Bewehrungsübergriffen zwischen den einzelnen Betonierabschnitten eine einfache Ausbildung durchgängiger Zugverankerungen, wie Deckenroste und durchgehend zugfeste Stützenverbindungen. Bei Vollfertigteilen sind hierfür jedoch detailliertere Überlegungen hinsichtlich der konstruktiven Knotendetailausbildung, Bauteilfugen und Toleranzen erforderlich.

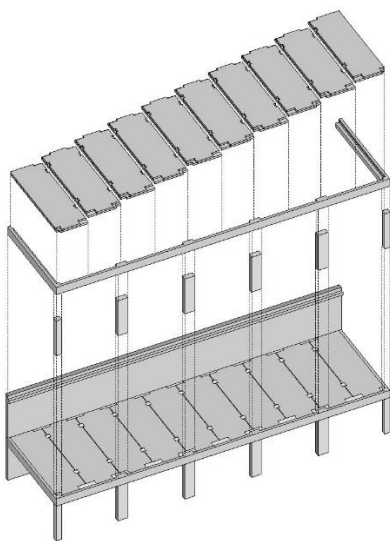


Abbildung a: Montageprinzip Holzbau

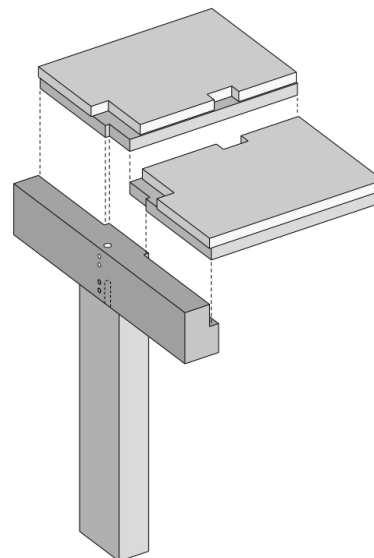


Abbildung b: Systemknoten Stütze-Träger-Decke

3. Vertikale Zugverankerung der Stützen

Zur Erhöhung der Ausfallsicherheit sind vor allem bei Gebäuden mit erhöhten Schadensfolgen ausreichende Zugverankerungen zwischen den einzelnen Bauteilen wichtig, weil diese z. B. bei lokalen Schäden eine gewisse Redundanz bzw. Lastumlagerung im Tragssystem ermöglichen. Bei den Holzstützen vom HoHo wurden die vertikalen Zuganker mittels eingeklebter Bewehrungseisen realisiert. Die kraftschlüssige Verbindung der Stützen untereinander erfolgt über gewellte Aussparungsröhre in den Randträgern und durch Verguss mit schnell aushärtendem schwindarmen Mörtel. Das Auflagerdetail der Holzstützen wurde so konzipiert, dass über Stahlplatten noch eine Höhenjustierung im Bauzustand erfolgen kann. Die planmäßig vorgesehene Versetzluft wurde danach mit sehr fließfähigem Mörtel verfüllt. Um einen lokalen Stützenentfall kompensieren zu können, wird darüber hinaus der Deckenrandträger als Durchlaufträger dimensioniert, sodass er die Belastung einer Stütze im außergewöhnlichen Fall auch auf die danebenliegenden Stützen umlagern kann. Bei Entfall einer Einzelstütze kann somit ein progressiver Kollaps des gesamten Gebäudes vermieden werden.

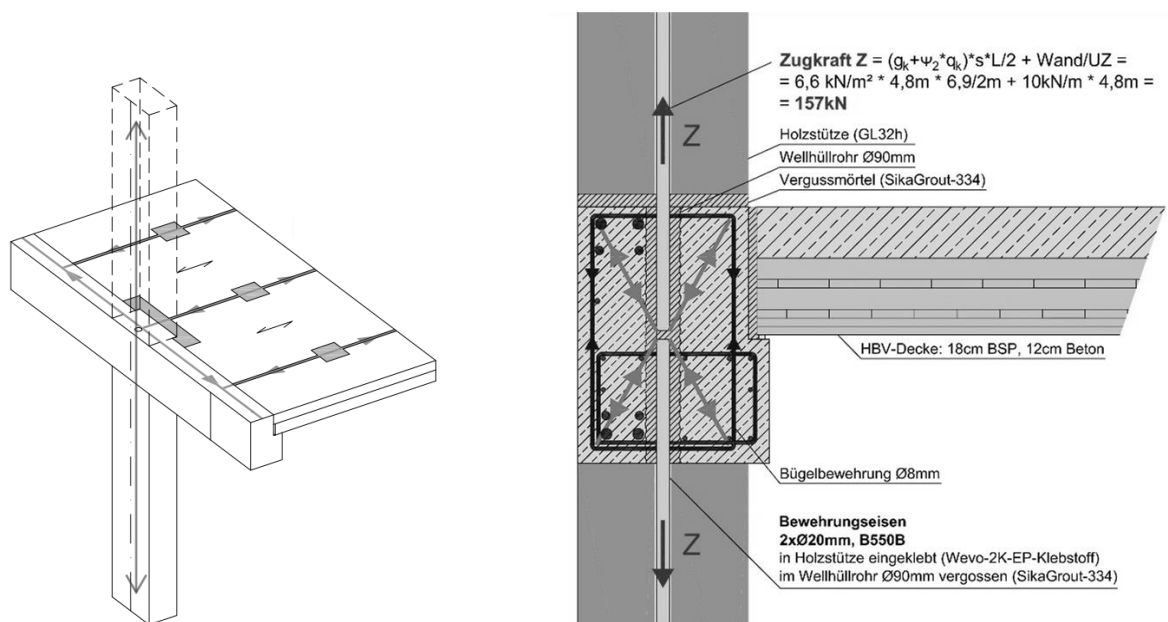


Abbildung: Vertikale Zugverankerung der Stützen

Die aufzunehmende Zugkraft ergibt sich aus der quasi ständigen Belastung im Lasteinzugsbereich einer Holzstütze und beträgt $Z=157 \text{ kN}$. Der maßgebende statische Nachweis für den Tragwiderstand der Zugverankerung aus 2xDN20mm (B550B) im außergewöhnlichen Zustand lautet:

$$\text{Stahlversagen Bewehrung: } Z_{s,rd} = 2 \times 3,14 \text{ cm}^2 \times 55 \text{ kN/cm}^2 = 345 \text{ kN}$$

$$\text{Verankerung im Vergussmörtel: } Z_{b,rd} = Z_{s,rd} \times l_{b,vor} / l_{b,d} = 345 \text{ kN} \times 26 \text{ cm} / 46 \text{ cm} = 195 \text{ kN}$$

$$l_{b,d} = (d_s/4) \times (f_{yk}/f_b) \times 0,7 = 2/4 \times 55/0,42 \times 0,7 = 46 \text{ cm}$$

$$\text{Nachweis: } Z = 157 \text{ kN} < Z_{rd} = 195 \text{ kN} \text{ (81\% Auslastung)}$$

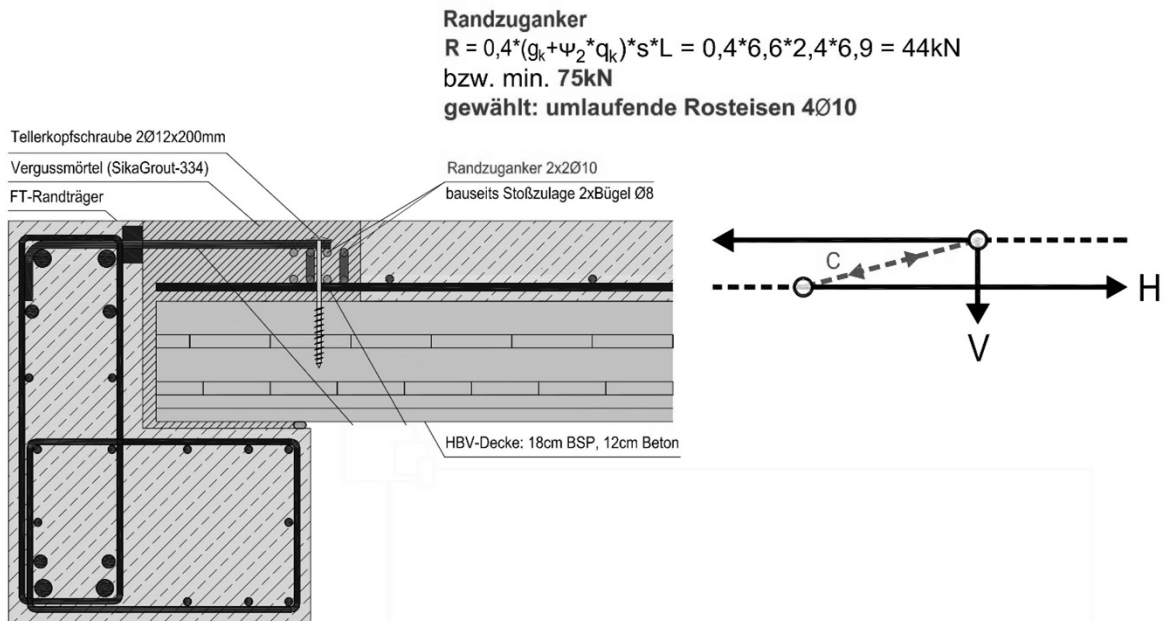


Abbildung: Randzuganker

4. Brettsperrholz-Wandbefestigung

Die vorgefertigten Bauelemente der Außenwände aus Brettsperrholz sind 4,8 m breit (=Stützenraster) und im Mittel ca. 3,2 m hoch (=Geschosshöhe – 30 cm) und wurden an der primären Tragstruktur so befestigt, dass sie keine globalen Lasten mitabtragen und mögliche Stauchungen in den Stützen aufgenommen werden können. Dies erfolgte durch einen vertikal verschieblichen Anschluss am Kopfpunkt der Wandelemente (Z-Winkel und Passstück, siehe Abb.). Die sekundäre Tragkonstruktion trägt somit nur lokale Windlasten und das Eigengewicht der Wand plus Fassadenaufbau ab und wird auch nicht für die Gebäudeaussteifung herangezogen.

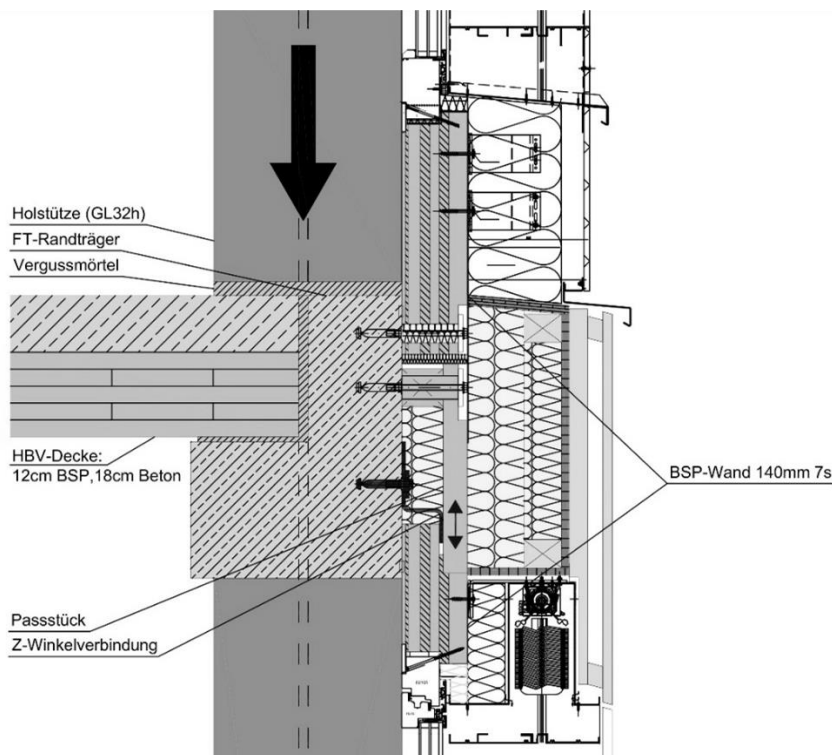


Abbildung: Detail Wandbefestigung

5. Schalltechnische Konstruktionsdetails

Eine wesentliche Vorgabe seitens des Bauherrn war, dass die tragende Holzkonstruktion sichtbar bleibt und nicht mittels abgehängter Decken oder Vorsatzschalen verkleidet wird. Damit die schalltechnischen Anforderungen dennoch erfüllt werden können, mussten im Bereich der Decken, Stützen und Brettsperrholzwände zur Schall- Entkoppelung Trennschnitte vorgesehen werden (siehe Abb.). Diese Schalltrennfugen verhindern eine unzulässige Schallweiterleitung zwischen zwei Nutzungseinheiten. Sollte an den optional definierten Stellen im späteren Ausbau doch keine Trennwand anschließen, wird die Fuge mit einer Deckleiste kaschiert, dies ermöglicht die nötige Flexibilität für die Nutzung.

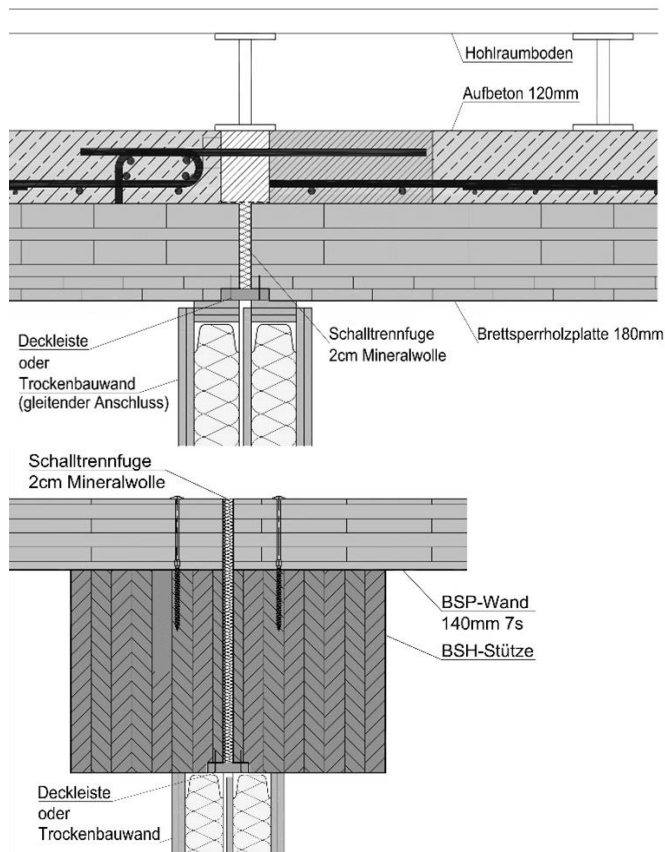


Abbildung: Konstruktionsdetails Schallschutz: Schalltrennfugen in Decke und Wand/Stütze



Abbildung: Fotos: Ausführung ohne/mit Schalltrennfugen

6. Details – Fokus Bauphysik

Fassade – vorgefertigtes BSP-Element mit hinterlüfteter Fassade

Beim Fassadenbauteil kam Brettsperrholz als raumbildendes Element zum Einsatz. Aufgrund der Sensibilität von Holz bezüglich Feuchtigkeit und der beim Hochhaus zu erwartender überdurchschnittlicher Belastung durch Wind und Witterung, wurde das Fassadenelement besonders im Hinblick auf die bauphysikalischen Dichtheitsanforderungen (aber auch Schallschutz- und Wärmeschutzanforderungen) geplant.



Abbildung: Montage Fassadenelement

Die vorgefertigten geschoßhohen Fassadenelemente wurden sowohl hinsichtlich Schlagregendichtheit und konstruktivem Feuchteschutz als auch Luftdichtheit und Feuchttransport über Konvektion von innen (Berücksichtigung möglicher Trocknungsrisse von BSP) betreffend geplant. Die Fassadenkonstruktion wurde auf die für Holzbau neuen erhöhten Anforderungen dimensioniert. Als Grundlage hierfür diente die Baustoffliste OE-Vorhangfassaden und der dort definierten Normen sowie die ÖNORM B 5300 für die Fenster. Windbelastungen wurden gemäß ÖNORM EN 1991-1-4 und nationalem Anhang festgelegt. Der funktionelle und normative Nachweis wurde im Fassadenprüfstand der Magistratsabteilung 39 mittels Prüfungen geführt. Zu diesem Zwecke wurden folgende Varianten der geprüft.

Übersicht Prüfzenario

Tabelle 1: Prüfzenarien

	Prüfung	HOHO / Eternit-Fassade (24 Geschoße)	HOHO Next / Holz-Fassade (5 Geschoße)
Bauphysik	Schallschutz		
	Prüfstand B x H = 3,4 x 2,4 m	Fassade ohne Fenster	Fassade ohne Fenster
		Fassade mit Fenster	Fassade mit Fenster
	Dichtheit / Belastung		-
	Prüfstand B x H = 3,4 x 3,2 m	Fassade mit Fenster - Luftdurchlässigkeit - Schlagregendichtheit - Widerstand gegen Windlast - Sicherheitsprüfung	-

Fassadenaufbau

WA01 Außenwand - BSP (Eternitfassade)

Neubau

Awh

A-I, Hochhaus

		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Eternit-Bepattung lt. Bauherr	0,0120		
2	Hinterlüftung ($\geq 200\text{cm}^2/\text{lfm}$) / UK	0,0500		
3	Windbremse (sd $\leq 0,3$ m; UV-beständig)	0,0002	0,330	0,001
4	• Mineralwolle / Metall-UK (therm. getrennt)	0,2000	0,035	5,714
5	Folie SIGA Wigluv (sd < 2 m)	0,0005	0,330	0,002
6	Brettsper Holz (Dicke mit TWP abstimmen)	0,1400	0,130	1,077
Wärmeübergangswiderstände				0,260
		0,4030	RT =	7,054
			Uc =	0,182

Die Alu-Unterkonstruktion wurde mittels thermisch entkoppelten Systems (Hilti Eurofox) ausgeführt. Punktuellen Montagepunkte wurden in der U-Wert Berechnung berücksichtigt.

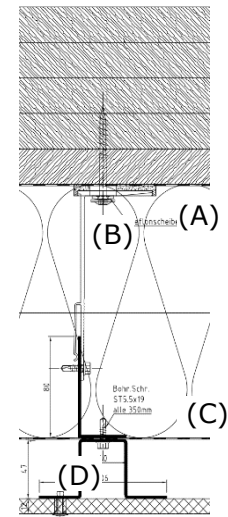


Abbildung:
Aufbau Fassade

Beständigkeit, konstruktiver Feuchteschutz, Dichtheit

Unter Berücksichtigung der geforderten Sichtholzqualität im Inneren und aufgrund der erhöhten Belastung mussten an der Fassade – verglichen mit niedrigeren Gebäuden in BSP-Bauweise – Zusatzmaßnahmen zur Gewährleistung der Dichtheit und Beständigkeit getroffen werden.

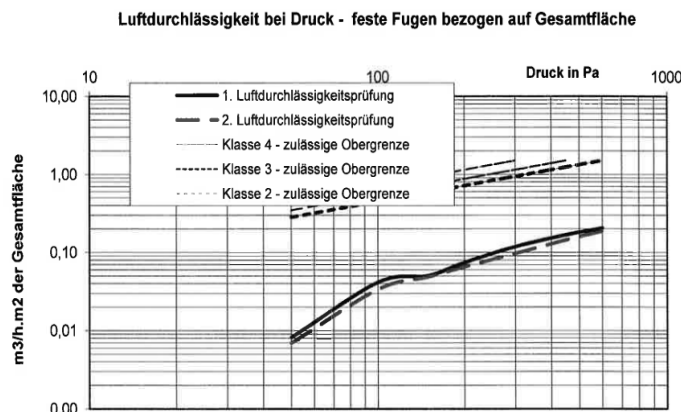


Abbildung: Ergebnis Luftdurchlässigkeitsprüfung

- (A) Im Fassadenaufbau wurde daher eine zusätzliche feuchtebeständige Dichtebene in Form einer werksseitig vollflächig verklebten Folie zwischen Brettsper Holz und Wärmedämmung angeordnet. Diese zusätzliche Dichtebene diente auch als Feuchte- und Schlagregenschutz im Bauzustand.
- (B) Verschraubungen der Alu-Unterkonstruktion der hinterlüfteten Fassade wurden mittels Teflonscheiben zusätzlich abgedichtet.
- (C) Fassadenbahn
- (D) Vertikale Fugen der Fassadenbepattung aus Eternit wurden mit Hutprofilen hinterlegt
- (E) Zu- und Abluftöffnungen geschoßweise

Fensteranschlussdetail

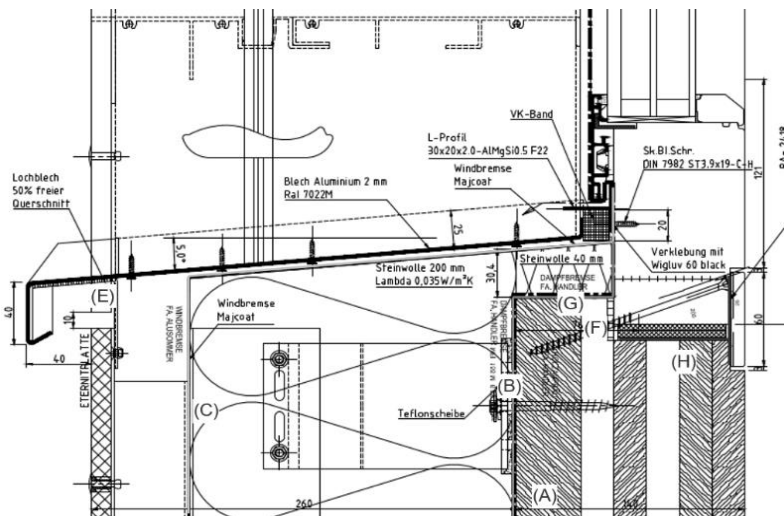


Abbildung: Fensteranschlussdetail

Bei der Prüfung des Fassadenbauteils im Prüfstand wurde die Fensteranschlussfuge mit-geprüft, um die Tauglichkeit zu verifizieren und etwaige Schwachstellen vorzeitig zu erkennen. Maßgebende beim Fensteranschluss war, dass

- (F) ein umlaufender in einer Ebene liegender Anschlagfalz im Brettsperrholz für die Fenstermontage vorhanden war,
- (G) eine durchgängige Verklebung der Fenster hin zur Feuchteschutzebene (A) zwischen Dämmung und BSP sichergestellt wurde,
- (H) eine stirnseitige Abklebung des BSP in Fensterstockebene erfolgte, um die Luftdichtheit trotz etwaiger Holzrisse sicherzustellen und konvektiven Feuchteintrag in die Bauteilanschlussfuge zu vermeiden.

Der Einbau der Fenster und die Verklebung der Anschlussfugen erfolgte werksseitig unter optimalen Bedingungen, um eine bestmögliche Qualität sicherzustellen.

Prüfergebnisse

Mit der Klassifizierung und Einreihung der Prüfergebnisse der Eternitfassade konnte belegt werden, dass die Anforderungen an die Fassade für das Projekt HOHO erfüllt werden.

Klassifizierung Fassadenprüfung

Leistungseigenschaft ÖNORM EN 13830	Anforderung	Einreihung / Ergebnis	Beurteilung
Luftdurchlässigkeit	≥ Klasse 4 Prüfung bis 1050 Pa	Klasse AE 1050	✓
Schlagregendichtheit	Klasse E 1050 A	Klasse RE 1050	✓
Widerstand gegen Windlast	Sog -2950 Pa / Druck +2090 Pa	Sog -3000 Pa / Druck +2090 Pa	✓
Sicherheitsprüfung	-	Sog -4425 Pa / Druck +3135 Pa	✓

Mit den Prüfergebnissen aus dem Prüfstand konnte betreffend Schallschutz ein ausreichender Schallschutz der Außenbauteile nachgewiesen werden.

Fassadenprüfung Schalldämm-Maß

Bauteil	Anforderung	Ergebnis	Beurteilung
Bewertetes Schalldämm-Maß opaker Außenbauteile	$R_w \geq 44$ dB	$R_w \geq 46$ dB	✓
Bewertetes Schalldämm-Maß opaker Außenbauteile + Fenster	$R_{res,w} \geq 39$ dB	$R_{res,w} \geq 45$ dB	✓

6.1. Trenndeck – Holz-Beton-Verbunddecke mit Hohlraumboden

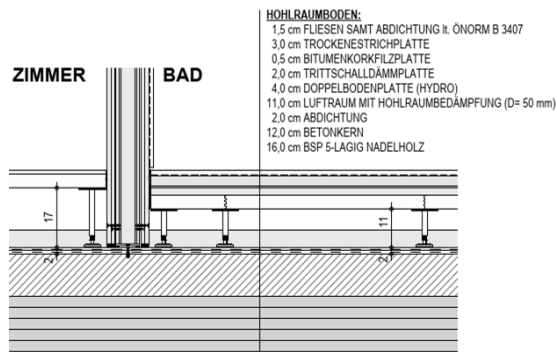


Abbildung: Aufbau Trenndecke

Neuheit der Holz-Beton-Verbund-Deckenelemente für das HOHO lag vorwiegend am stark reduzierten Anteil an Stahlverbindungsmitteln und der Vorfertigung, realisiert durch den Einsatz neuartiger Verbindungen zwischen Holz und Beton. Dadurch wurden Kosten sowie Bauzeit reduziert.

Seitens Bauphysik wurde die Kombination aus den vorgefertigten HBV-Elementen mit Hohlraumbodenaufbau hinsichtlich Trittschallschutz untersucht.

Verbesserungsmaßnahmen, wie eine abgehängte Decke, war aufgrund der Sichtholz-Anforderung nicht möglich. Optimierungspotential bestand in der Entkoppelung der Hohlraumboden-Stützen, sowie im Aufbau (inkl. Belag) über dem Hohlraumboden.

Aufbauvarianten

Im Trittschallprüfstand der TU-Graz wurden unterschiedliche Bodenvarianten geprüft und optimiert. Anbei ein Auszug der relevanten Aufbauten:

Bodenaufbauten - Trittschall

Nr:	Aufbau	$L_{n,w}$
2	<ul style="list-style-type: none"> - 15 mm Parkettboden auf Granulatmatte (d = 5 mm) - 40 mm Hohlraumbodenplatte (FLOOR and more, G40) auf Stellfüßen mit Entkopplungsmaterial - 200 mm Luftzwischenraum bis UK Doppelbodenplatte mit Hohlraumbedämpfung (d = 50 mm) - 120 mm Betonkern - 160 mm BSP 5-lagig (Nadelholz) 	54 dB
4	<ul style="list-style-type: none"> - 10 mm Teppichfliesen - 40 mm Hohlraumbodenplatte (FLOOR and more, G40) auf Stellfüßen mit Entkopplungsmaterial - 200 mm Luftzwischenraum bis UK Doppelbodenplatte mit Hohlraumbedämpfung (d = 50 mm) - 120 mm Betonkern - 160 mm BSP 5-lagig (Nadelholz) 	48 dB
9	<ul style="list-style-type: none"> - ohne Belag - 30 mm Trockenestrich (Norit TE30) - 4-6 mm Bitumenkorkfilz (K1) - 20 mm Trittschalldämmung (TPE20) - 40 mm Doppelbodenplatte (FLOOR and more, G40) auf Stellfüßen mit Entkopplungsmaterial - 150 mm Luftzwischenraum bis UK Doppelbodenplatte mit Hohlraumbedämpfung (d = 50 mm) - 120 mm Betonkern - 160 mm BSP 5-lagig (Nadelholz) 	48 B

Integrale Aspekte – Entkoppelung Stützenfüße

Grundvoraussetzung für die trittschalltechnische Funktion des Hohlraumbodens auf der «leichten» HBV-Decke ist die optimale Entkoppelung der Stelzenauflager des Bodensystems. Hierfür war eine intensive Abstimmung erforderlich um die

- mögliche Belastbarkeit (Statik) zu gewährleisten ohne die
- Gebrauchstauglichkeit (Hersteller) des Bodensystems einzuschränken (Einfederung aufgrund der elastischen Entkoppelung) und dabei eine
- bestmögliche Entkoppelung des Bodensystems hinsichtlich Trittschall sicherzustellen.

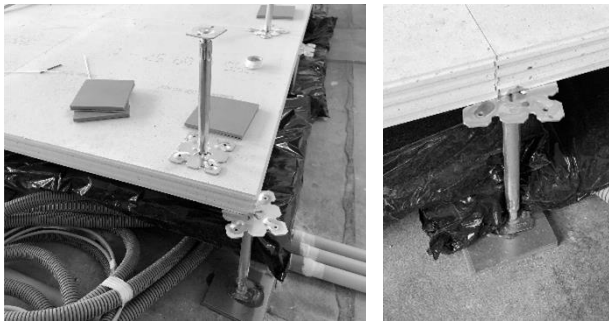


Abbildung: Hohlraumboden; Stützenfuß

Messergebnisse

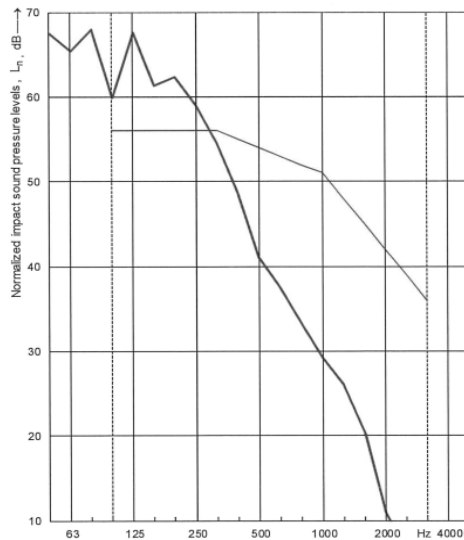


Abbildung: Trittschall Aufbau Nr. 2

Zur Einhaltung des erforderlichen bewerteten Standard-Trittschallpegels $L_{nT,w}$ wurden bei der Umrechnung der Versuchsergebnisse (bewerteter Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$) die unterschiedlichen Parameter der Empfangsräume vom HOHO (Raumvolumen, Korrekturfaktor für Flankenübertragung, Messtoleranz) berücksichtigt. Aufgrund konstanter Raumhöhe wurden Trittschall betreffende Grenzwerte, bezogen auf erforderliche Raumgrößen (m^2), bestimmt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Kombination HBV-Decke - Hohlraumboden im tieffrequenten Bereich eine markante Schwächung bei 125 Hz aufweist, weshalb besonders bei kleinvolumigen Empfangsräumen (z.B. Hotelzimmern) der herkömmliche Hohlraumbodenaufbau verbessert werden musste. In diesen Räumen war über dem Hohlraumboden ein zusätzlicher entkoppelter Trockenestrich erforderlich.

Die in der Versuchsreihe optimierten Aufbauten weisen eine unterschiedliche Qualität der Trittschalldämmung auf. Abhängig von der Raumkonfiguration des Empfangsraums und der geplanten Nutzung wurden entsprechende Aufbauten mit ausreichender Qualität gewählt. Im Planungsprozess konnte die Anzahl unterschiedlicher Aufbauten so reduziert werden.

Trittschallkennwerte

Mindestfläche *	Aufbauvarianten	Bew. Norm-Trittschallpegel aus Prüfung $L_{n,w}$ (Prüfwert →)	Bew. Standard-Trittschallpegel $L_{nT,w}$ umgerechnet)
≥ 18 m ²	Aufbau Nr. 4 bzw. 7: Doppelboden + Teppichfliesen Aufbau Nr. 9: Doppelboden + Trockenestrich mit TSD + Bitumenkorkfilz; Belag nach Wahl	≤ 48,1 dB	48 dB
≥ 40 m ²	Aufbau Nr. 8: Doppelboden + Trockenestrich mit TSD; Belag nach Wahl	≤ 51,5 dB	48 dB
≥ 70 m ²	Aufbau Nr. 2: Doppelboden + Parket auf Gummigranulat (Silentparkett)	≤ 54,0 dB	48 dB
≥ 100 m ²	Aufbau Nr. 5: Doppelboden + Parket auf Gummigranulat (Silentparkett)	≤ 55,5 dB	48 dB
≥ 120 m ²	Aufbau Nr. 6: Doppelboden + Belag nach Wahl	≤ 56 dB	48 dB

Prüfaufbauten

In einer ersten Voruntersuchung wurden im Schallprüfstand 2 Hybrid-Deckenelemente jeweils mit und ohne Kopplungselement in der Stoßfuge der Brettsperrholzschicht und durchgängiger Betondeckschicht untersucht, um den Einfluss der Fuge zu analysieren. Ein Element wurde mittels Shaker bzw. Impulshammer an unterschiedlichen Stellen angeregt. Folgend wurden die resultierende Schwingungsschnellen mittels Beschleunigungssensor bestimmt, um daraus die Stoßstellendämmung zu ermitteln. Die Untersuchungen fanden jeweils mit und ohne Koppelungselement sowie mit Anregung von der Ober- und Unterseite statt.

Im Hauptversuch wurde der Kreuzstoß der teilentkoppelten Trenndecke mit Trennwänden in Trockenbauweise in realer Größe an einem Mockup untersucht:

- Zuerst wurde hierbei unter Berücksichtigung von Ausbreitungsdämpfung und Modendicht in der HBV-Decke das Stoßstellendämm-Maß gemessen.
- Im 2. Teil der Untersuchung wurde das Mockup um den Raumabschluss erweitert, um die Standardschallpegel-Differenz zu messen.

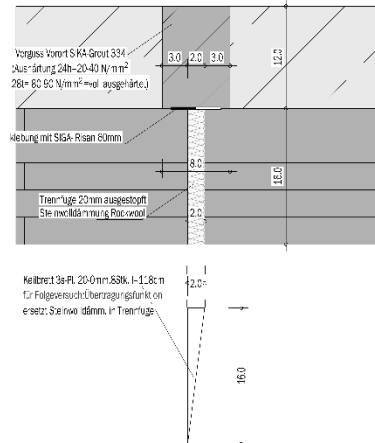


Abbildung: Prüfaufbau

Integrale Aspekte

Bei der schalltechnischen Trennung von Nutzungseinheiten und den damit erforderlichen konstruktiven Maßnahmen waren besonders die architektonischen und bauherrenseitigen Anforderungen an die gewünschten Sichtoberflächen von Decke und Fassade sowie die statischen Anforderungen in Einklang zu bringen. Folgende konstruktive Maßnahmen wurden daher unter Beachtung wirtschaftlicher Kriterien integral abgestimmt und umgesetzt:

- ARCH: Abgehängte Decken oder Vorsatzschalen waren aufgrund der Sichtholzoptik nicht gewünscht
- BPH / TWP: Stützen bzw. Fassadenelemente wurden bei angrenzenden Nutzungseinheiten statisch so bemessen, dass eine schalltechnische Trennung möglich war.
- BPH / TWP: Trenndecken wurden zwischen angrenzenden Nutzungseinheiten teilweise getrennt und die Funktion im Prüfstand schalltechnisch bestätigt sowie seitens Statik geprüft.

Prüfergebnisse und Anwendung

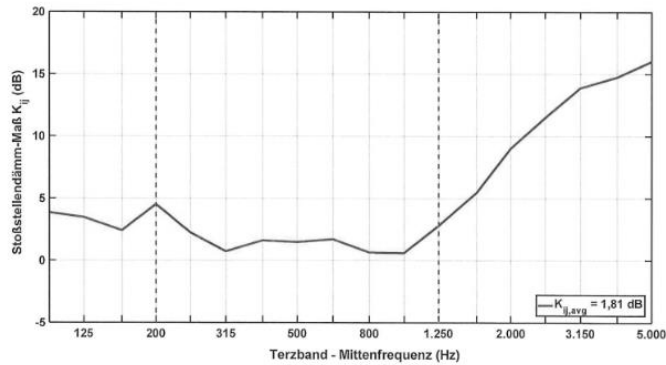
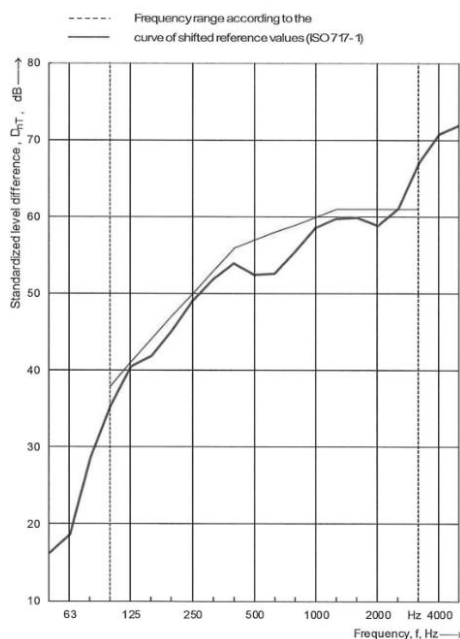


Abbildung: Res. Stoßstellendämm-Maß; Anregung des BSP

Die Voruntersuchungen zeigten, dass mit der nur teilweise getrennten HBV-Decke mit durchgängiger massigen Betonschicht nur ein geringes Stoßstellendämm-Maß erreicht werden kann.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigten, dass aufgrund eines ausgeprägten Eigenschwingverhaltens des Deckensystems dieses bei tiefen Frequenzen nur bedingt die theoretische Basis erfüllte. Die Kombination des Brettspertholzes mit dem Beton führte dazu, dass eine für Brettspertholz ansonsten typische Ausbreitungsdämpfung im hochfrequenten Bereich weitgehend aufgehoben wurde. Der hier untersuchte Deckenaufbau zeigte eine sehr starke Kopplung, welche auf den durchlaufenden Betonteil in der Stoßstelle zurückzuführen war.



Im Anwendungsfall HOHO und den dort zugrundeliegenden Anforderungen war es notwendig, auch Optimierungsmaßnahmen mit geringer Auswirkung zur Anwendung zu bringen, um die geforderten Grenzwerte garantieren zu können. Entsprechend wurde die Teiltrennung umgesetzt. Dies wurde auch durch die im zweiten Schritt erfolgte Messung der Standardpegeldifferenz im Mockup und der späteren Verifikationsmessung im Gebäude bestätigt.

Im Versuchsaufbau des Mockups wurde aufgrund des minimalen Raumvolumens als maßgebend beurteilt. Es konnte eine bewertete Standard-Schallpegeldifferenz von $D_{nT,w}$ 57 dB erreicht werden. Die Messungen im Gebäude übertrafen diesen Wert je nach Raumkonstellation um 1 bis 5 dB.

Abbildung: Messkurve Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ – Mockup

7. Schlussbemerkung

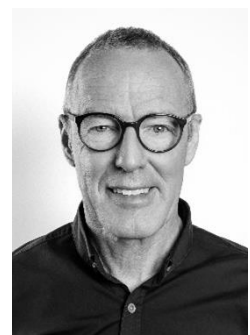
Das HoHo Wien stellt ein Pionierprojekt für den Holzbau dar und zeigt, dass der ressourcenschonende Baustoff Holz mithilfe der entwickelten modularen Tragwerkslösung unter Einhaltung der Anforderungen an Schallschutz, Brandschutz und Robustheit, aber auch Baulogistik und Wirtschaftlichkeit, für den Einsatz im Hochhausbau geeignet ist.

Block B3

Gebäudehülle: Gestaltung | Konstruktion | Funktion

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 kreierten 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 seiner 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 Alphütte, 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.



Abbildung 1: Wohnanlage Ölbündt Dornbirn 1996



Abbildung 2: Wohnanlage Ölbündt Dornbirn 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.



Abbildung 3: Raiffeisenbank Mittelbregenzerwald Egg 2010



Abbildung 4: Raiffeisenbank Mittelbregenzerwald Egg 2019

Die Schindelfassade aus Fichtenholz ist nicht hinterlüftet – bei einem Holzbau ist das nicht nötig. Innerhalb von neun Jahren ist die Fassade gleichmässig vergraut.



Abbildung 5: Wohnanlage Hard 2003



Abbildung 6: Wohnanlage Hard 2021

Schützen sollten die Vordächer die Fassade aus Lärchenholz. Stattdessen haben diese eine ungleichmässige Verwitterung verursacht. «Heute würden wir das anders machen».



Abbildung 7: Olpererhütte Tirol 2007



Abbildung 8: Olpererhütte Tirol 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.



Abbildung 9: Sutterlüty Markt Weiler 2002



Abbildung 10: Sutterlüty Markt Weiler 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.

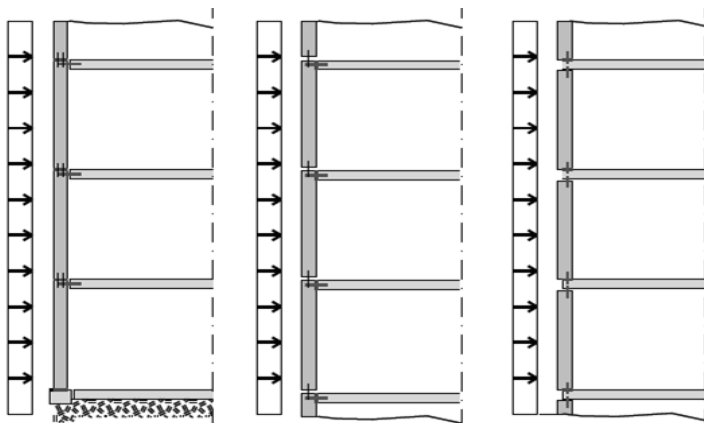


Abbildung 1: Anschlussvarianten der Außenwand an die Massivkonstruktion

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.

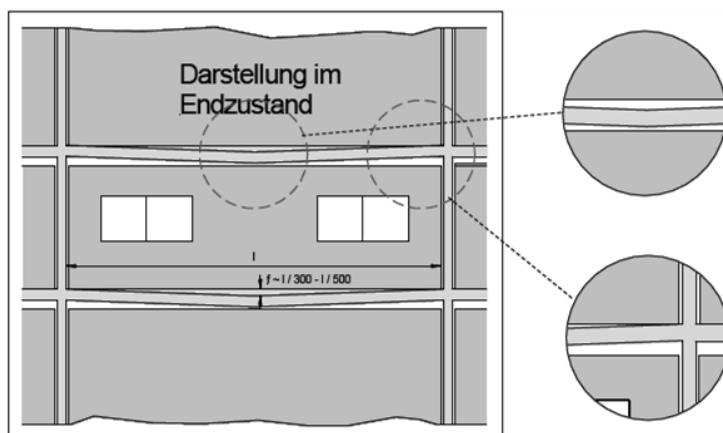


Abbildung 2: Deckenverformungen in Bezug auf die Außenwand

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 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 der Gebäudeklasse 4 und 5 aus schwerentflammenden 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.

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.

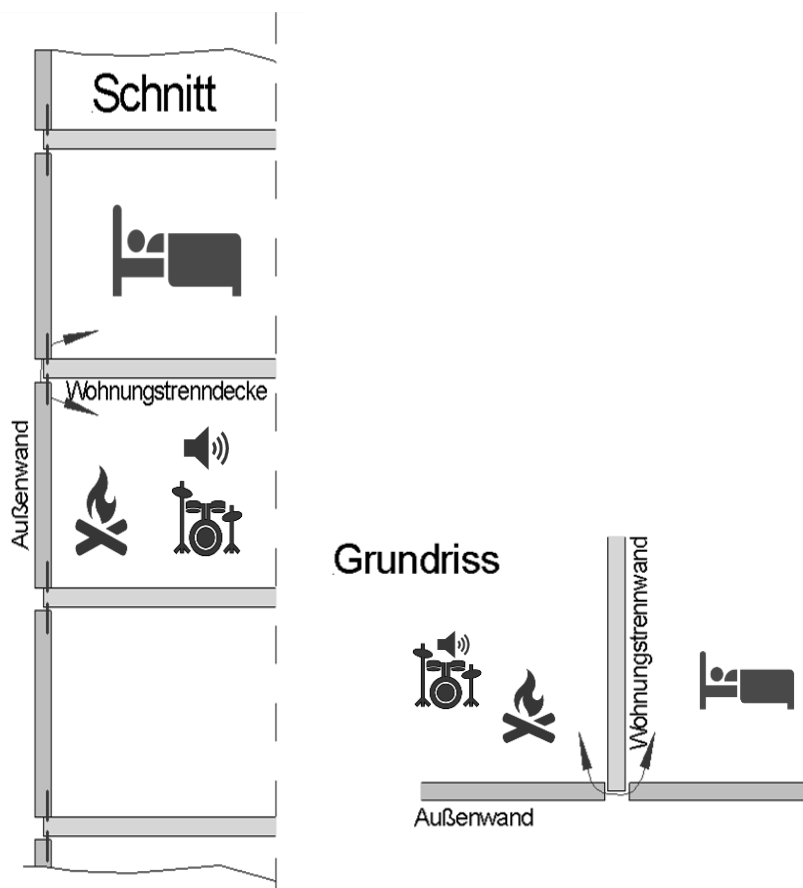


Abbildung 3: Brandwege und Schallnebenwege im Anschlussbereich

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 ([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 ([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.

Holzfassaden: Witterung und Schutzmassnahmen – Möglichkeiten und Grenzen im Überblick

Thomas Volkmer
Bernere Fachhochschule
Biel/Bienne, Schweiz



Holzfassaden: Witterung und Schutzmassnahmen – Möglichkeiten und Grenzen im Überblick

1. Einleitung

Der Werkstoff Holz gewinnt vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit immer mehr an Bedeutung im Bauwesen. Obwohl sich der Einsatz seit Jahrhunderten bewährt hat, steht das Holz heute in harter Konkurrenz zur verschiedenen anderen Baumaterialien und muss dabei in den entsprechenden Bereichen immer höheren Anforderungen genügen: Brandverhalten, mechanische Belastbarkeit, Isolationsverhalten und Ästhetik. Im Fassadenbereich spielt dabei neben dem Brandschutz die Dauerhaftigkeit und die ästhetische Erscheinung eine wesentliche Rolle. Aufgrund dessen, dass Holz beim Einsatz im Aussenbereich durch biologische und klimatische Einflüsse durch einen Abbau gefährdet ist, sind Schutzmassnahmen notwendig, die diesen Prozessen entgegenwirken. Fassaden werden nach DIN 68800/1 in die Gebrauchsklasse 3.1 eingeordnet, was bedeutet, dass die Holzelemente direkt bewittert werden und gelegentlich eine Feuchte von über 20% aufweisen können. Durch diese Exposition kommt es bei ungeschützten Holzoberflächen zu einem photochemischen Abbau des Holzes verbunden mit deutlichen Farbveränderungen (Derbyshire und Miller 1981, Hon 2000). Bei ungünstigen Einbausituationen ist eine intensivere und andauernde Durchfeuchtung möglich, was auch zu einem biologischen Abbau und Fäulnis führen kann (Erler 2002). Aufgrund dieser Rahmenbedingungen und infolge der hohen ästhetischen Ansprüche ist es notwendig, die Oberfläche und ggf. das Substrat von Holzbauteilen zu behandeln. Diese Oberflächenbehandlung kann auf sehr unterschiedliche Weise erfolgen (Sell 2001, Volkmer 2006) und ist auch stark durch Traditionen und regionale Gegebenheiten beeinflusst. In der Schweiz besteht dies bzgl. eine grosse Offenheit gegenüber dem Einsatz neuer und alternativer Verfahren für die Oberflächenbehandlung (Selter 2007).

2. Umwelteinflüsse auf Holzoberflächen im Aussenbereich

Als Fassadenmaterial ist Holz natürlicher Weise den verschiedenen Umwelteinflüssen ausgesetzt, welche je nach Exposition und geographischer Lage die Oberfläche und teilweise auch das Substrat deutlich schädigen können. In den folgenden Abschnitten sind die wichtigsten Einflüsse in ihrer Wirkung auf die Holzoberfläche genauer beschrieben.

Feuchtigkeit

Beim Werkstoff Holz handelt es sich um einen hygroskopischen Werkstoff mit einem ausgeprägten Verhalten gegenüber Feuchtigkeit, das sich unter anderem im Quellen und Schwinden des Holzes bemerkbar macht. Bei beschichteten Bauteilen führt diese Dimensionsänderung oft zu einem Reißen der Beschichtung und begünstigt eine verstärkte Durchfeuchtung. Wasser kann infolge der jeweiligen Klimabedingungen unterschiedlich vorliegen und entsprechend ist die Wirkung auf Holzbauteile differenziert zu betrachten. Formen des Wassers, welche den Abbau von Holz-(oberflächen) im Aussenbereich beeinflussen, können (Schlag-) Regen, Schnee, Hagel, hohe relative Luftfeuchte oder Spritzwasser sein. Generell führt eine hohe Umgebungsfeuchte zu einer erhöhten Holzgleichsfeuchte. Daraus resultieren ein vergrössertes Befallsrisiko durch Mikroorganismen (Sell et al. 1995, Schwarze 2003), ein verstärkter mechanischer Abtrag an der Oberfläche (Erler 2002) und eine vermehrte Auswaschung von Holzbestandteilen (Feist und Hon 2002). Weiterhin führt das Vorhandensein von Wasser in Kombination mit der Sonnenstrahlung zu einer chemischen Umwandlung bzw. einem Abbau der Oberfläche. Das trifft sowohl auf unbehandeltes als auch auf beschichtetes Holz zu.

Temperatur

Holz ist infolge seines strukturellen Aufbaus ein schlechter Wärmeleiter. Die thermische Wärmeausdehnung des Holzes spielt im Vergleich zum Quellen und Schwinden nur eine untergeordnete Rolle und ist ca. eine 10er Potenz kleiner als die Volumenänderung infolge des Feuchteinflusses.

Jedoch kann es speziell bei dunklen Oberflächen (vergraut oder beschichtet) nach intensiver Sonnenbestrahlung zu einer Aufheizung auf bis zu 65°C kommen (Sell 1981), entsprechend dem BFS Merkblatt 18 können sich derartige Flächen sogar auf 80°C aufheizen. Dieser Temperaturanstieg führt dann zwangsläufig zu einem beschleunigten Trocknen des Holzes oder allgemein zu einer niedrigen Ausgleichsfeuchte im Holz (Schulz et al. 1973, Meijer und Millitz 2001). Der Trocknungsvorgang kann bei Holz im Fassadenbereich mit Südexponierung zu einer starken Rissbildung führen, was dann wiederum zum Aufreißen der Beschichtung führt, weshalb dunkle Farbtöne bei Holzfassaden eher ungünstig sind. Ebenfalls ungünstig auf das Erscheinungsbild des Holzes wirken sich grosse Temperaturschwankungen oder häufige Temperaturwechsel aus, wie sie z.B. bei halb beschatteten Bauteilen auftreten können (Sell 1981). Tiefe und grosse Risse beeinträchtigen die Ästhetik und stellen potentielle Eintrittspforten für Wasser und Mikroorganismen dar. Wenn Holz im Verbund mit Werkstoffen mit relativ hoher Wärmedehnung eingesetzt wird (z.B. mit verschiedenen Kunststoffen oder Metallen), kann das zu Spannungen im System führen, verbunden mit Rissen in der Grenzschicht.

Globalstrahlung

Sonnenlicht stellt einen der bedeutendsten Einflussfaktoren hinsichtlich des Holzabbaus und der Holzalterung dar. Speziell die energiereiche kurzwellige Ultraviolette-Strahlung (UV-Strahlung) hat einen signifikanten Einfluss auf die Holzoberfläche. In Abhängigkeit der Wellenlänge ist die Eindringung der Strahlung in das Holz unterschiedlich. UV-Licht dringt maximal 75 µm ein, sichtbares Licht bis zu 200 µm (Emmler 2003).

Die Absorption von Licht ist die Voraussetzung für den photochemischen Abbau eines Werkstoffes. Diese Absorptionsfähigkeit ist im Fall von Holz gegeben, wobei sich die einzelnen Komponenten (Lignin, Zellulose, Hemizellulose und Holzinhaltstoffe) in ihren Absorptionseigenschaften unterscheiden.

Lignin absorbiert UV-Strahlung am effektivsten und weist ein ausgeprägtes autooxidatives Verhalten auf, deshalb wird es deutlich stärker als Zellulose oder Hemizellulose abgebaut. Bei Zellulose kommt es infolge der Lichtstrahlung zu einer Abnahme des Polymerisationsgrades, verbunden mit der Abnahme der Zugfestigkeit (Desai 1968, Turkulin und Sell 2002, Volkmer et al. 2013). Holzinhaltstoffe bilden neben Lignin weitere wichtige Absorptionszentren im Holz, ihr photochemischer Abbau erfolgt dementsprechend ähnlich schnell wie derjenige von Lignin (Feist und Hon 1984).

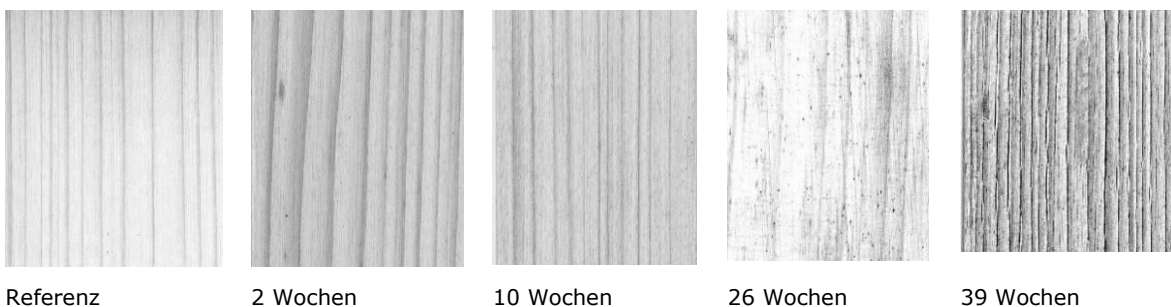


Abbildung 1: Zeitabhängige Verwitterung bei Fichte (45° geneigt, südexponiert)

Eigene Untersuchungen haben deutlich gemacht, dass es im Verlaufe des Verwitterungs- und Vergrauungsprozesses (Abbildung), welcher in der jüngeren Vergangenheit auch industriell genutzt wird, zu einer Erodierung der Frühholzzonen kommt, was bei Nadelhölzern zu der typischen Riffelstruktur der Oberfläche führt. In diesem Zusammenhang wurde weiter festgestellt, dass die Holzart hinsichtlich einer makroskopischen visuellen Bewertung der Oberflächen eine untergeordnete Rolle spielt. Nach ca. 40 Wochen Freilandbewitterung (45° Neigung, südexponiert) von Fichte, Lärche und Eiche waren die Farbänderungen

weitestgehend abgeschlossen und subjektiv nur geringfügige Farbunterschiede zwischen den Holzarten festzustellen.

Der photochemische Abbau von Holz spielt auch in Hinblick auf beschichtete Aussenbauteile eine entscheidende Rolle. Wenn die Beschichtung keinen ausreichenden Schutz gegenüber der energiereichen UV-Strahlung darstellt, was bei schwach pigmentierten Systemen der Fall ist, kommt es einerseits zum Abbau der Beschichtung selber, und andererseits wird das Holz (speziell das Lignin) unter der Beschichtung abgebaut. Risse zwischen Beschichtung und Holzoberfläche sind schliesslich die Folge dieses Prozesses, wodurch eine Delaminierung der Beschichtung und ein Abbau der Oberfläche eingeleitet werden. Wie bereits erwähnt bezieht sich der photochemische Abbau der Oberflächen nicht nur auf Holz sondern auch auf Lacke und sämtliche organische Beschichtungssysteme. Eine hohe Resistenz gegenüber der Sonnenstrahlung weisen mineralische Oberflächen auf, welche teilweise auch im Holzbereich zum Einsatz kommen.

Wind

Belastungen der Holzoberfläche (beschichtet oder unbehandelt) durch Wind in Verbindung mit Regen führen zu höheren Niederschlagsmengen an senkrechten Bauteilen. Nach Frank (1973) sind Windkräfte die wichtigste Ursache für das Eindringen von Regenfeuchtigkeit in die Oberfläche von Fassaden. Durch Windeinfluss erhöht sich die Wassermenge auf der Oberfläche des Bauteils und die Eindringtiefe der Feuchtigkeit in das Holz.

Darüber hinaus wirken mitgeführte Staubpartikel in der Luft abrasiv auf die Oberfläche und verursachen einen beschleunigten mechanischen Abtrag des Materials im Frühholz. Die Belastung der Oberfläche ist stark von der Exposition abhängig.

Für Mitteldeutschland liegt die höchste Schlagregenbelastung für westlich ausgerichtete Bauteile vor (Erlor 2002). Geiser (2005) konnte für verschiedene Regionen in der Schweiz nachweisen, dass ein direkter Zusammenhang zwischen Farbveränderung / Alterung der Holzoberfläche und der Hauptwindrichtung besteht. In nebelfreien Regionen mit hoher Anzahl an Sonnenstunden verfärben sich unbehandelte Holzoberflächen braun bis dunkelbraun. In Regionen mit einer häufigen Kombination aus Regen und Wind verfärben sich die Holzoberflächen grau bis schwarz.

Biologischer Befall

Neben den oben genannten umweltbedingten Einflussfaktoren können Holzfassaden auch durch holzerstörende Pilze oder Insekten geschädigt werden. Ein Befall ist aber nur dann wahrscheinlich, wenn die Holzfeuchte längerfristig im Bereich der Fasersättigung liegt. Jedoch können Fassaden bei einer fachgerechten Ausführung immer wieder austrocknen, weshalb derartig hohe Feuchten nicht zu erwarten sind. Je nach Exposition der Fassade kann es aber direkt auf der Oberfläche immer wieder zu kurzzeitig hohen Wassergehalten kommen, was dann zu einer Besiedlung durch Bläue- und Schimmelpilze führen kann. Hierbei handelt es sich dann um ein ästhetisches Problem und die Bauteilsicherheit ist nicht gefährdet. Bei einem Befall von beschichteten Holzbauteilen können aber unter Umständen Schädigungen im Oberflächenbereich auftreten. Es kann zu einer Zerstörung der Beschichtung und in der Folge zu einer vermehrten Feuchteaufnahme im Substrat kommen, was im ungünstigsten Fall zu einem Befall des Bauteils durch holzerstörende Pilze führen kann. Die heutzutage sehr gute thermische Dämmung von Gebäuden führt auch zu längeren Kondensationsphasen auf der Oberfläche der Fassaden, was ebenfalls eine Besiedlung durch Schimmel- und Bläuepilze unterstützt.

3. Möglichkeiten des Holz- und Oberflächenschutzes im Fassadenbereich

Holzschutz allgemein dient dem Werterhalt von Holzbauteilen und der Gewährleistung der Sicherheit von Holzkonstruktionen. Es gibt verschiedene Ansätze, um eine möglichst lange Lebensdauer von Holzbauteilen zu garantieren.

- Organisatorischer Holzschutz (Fällzeitpunkt, Lagerung, Transport, Trocknung, Verarbeitung)
- Natürlicher Holzschutz (Auswahl geeigneter Holzarten)
- Baulicher Holzschutz (konzeptionell, konstruktiv)

- Physikalischer Holzschutz (Oberflächenbehandlung)
- Holzmodifikation
- Chemischer Holzschutz (vorbeugend, bekämpfend)

Die folgenden Ausführungen beziehen sich in erster Linie auf den physikalischen Holzschutz und somit auf die Beschichtung von Holz. Teilweise werden Fassadenelemente auch mit entsprechenden Salzlösungen druckimprägniert und noch zusätzlich beschichtet, was dann einer Kombination aus chemischem und physikalischem Holzschutz entspricht. Aufgrund dessen, dass Fassadenbekleidungen keine tragenden Bauteile darstellen und keinen Erdkontakt haben sollten, besteht auch die Möglichkeit vollständig auf Schutzmassnahmen zu verzichten. In vielen Anwendungsfällen ist aber eine Behandlung der Oberfläche auch aus ästhetischen Gründen gewünscht. Auf die verschiedenen Substrate und mögliche Oberflächenvorbehandlung wird an dieser Stelle ebenfalls nicht eingegangen.

Die folgende Graphik (Abbildung) fasst die Möglichkeiten des Oberflächenschutzes von Holzfassaden zusammen und bezieht sich dabei aber nur auf die materialbezogenen Möglichkeiten. Konstruktive Aspekte werden nicht berücksichtigt.

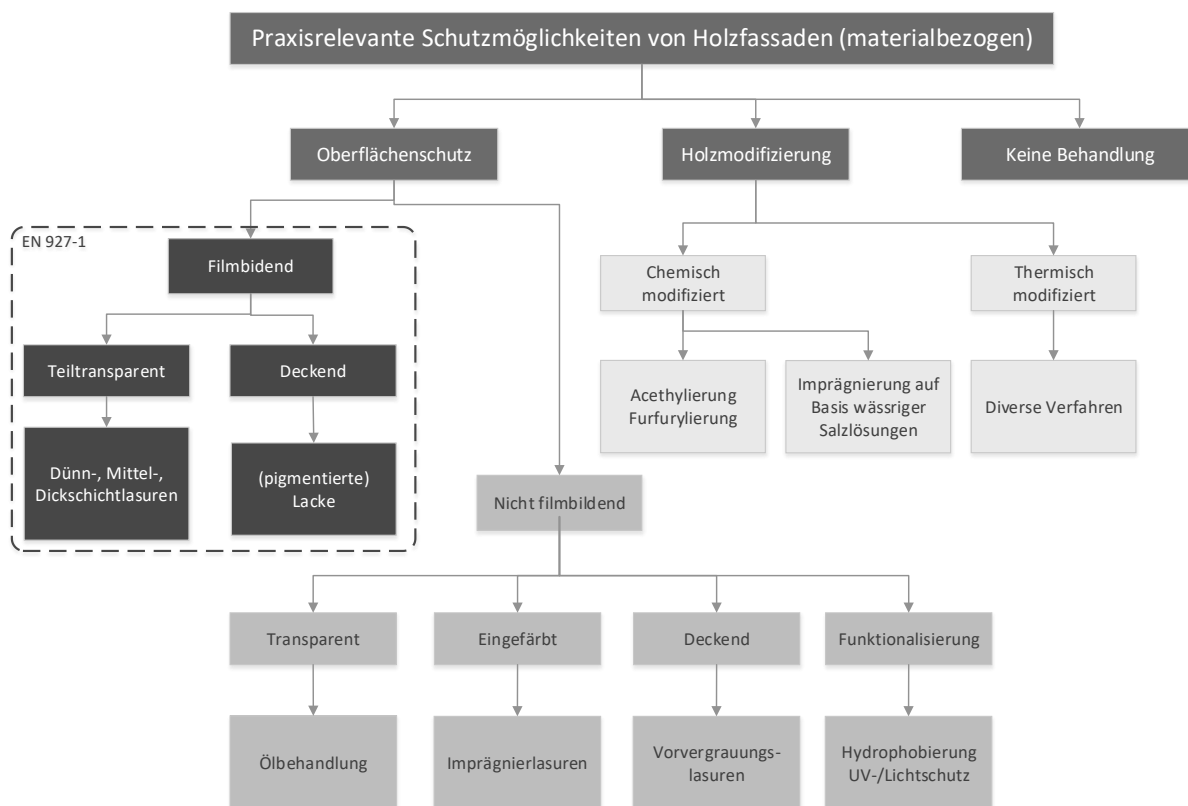


Abbildung 2: Überblick über die Möglichkeiten des Oberflächenschutzes von Holzfassaden

Keine Schutzmassnahmen: Bei diesem Ansatz werden die Fassadenelemente nicht modifiziert oder behandelt. Es ist aufgrund der klimatischen Einflüsse mit einer starken Vergrauung der Oberfläche zu rechnen (Abbildung), wobei die Verfärbungen je nach Exposition und Einbausituation sehr ungleichmässig sein können. Ein wesentlicher Vorteil dieser Variante sind die geringen Kosten bzgl. Anschaffung und Unterhalt, jedoch wirken derartige Fassaden im feuchten Zustand oft dunkelgrau/schwarz und es bestehen praktische keine ästhetischen Variationsmöglichkeiten (Volkmer und Höltschi 2008, Ganne-Chédeville et al. 2010). Der Abbau der Holzoberfläche ist dadurch gekennzeichnet, dass es zu einem Abbau des Lignins in der Mittellamelle (Abbildung) kommt und somit die mechanische Stabilität der Oberfläche stark reduziert wird. Das hat wiederum eine ausgeprägte Erosion zur Folge verbunden mit den genannten Vergrauungseffekten (Williams et al. 2001a,b).



Abbildung 3: Unbehandelte Stülpchalung – Fichte (westexponiert), nach 5 Jahren Bewitterungszeit, die erwartete Vergrauung ist relativ gleichmässig abgesehen vom Einfluss des Vordaches (Volkmer und Höltschi 2008)

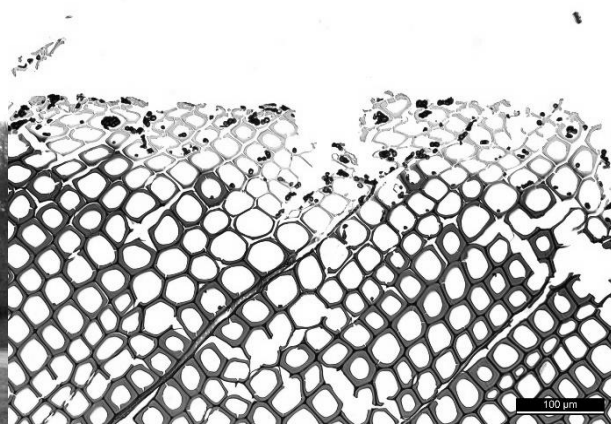


Abbildung 4: Fichtenoberfläche nach 12 Monaten Freibewitterung (südexponiert), die Mittellamelle ist stark abgebaut, der Zellverbund ist delaminiert und es hat eine Besiedlung durch Schimmelpilze eingesetzt, die Tiefe der Degradation ist gut durch die Farbunterschiede sichtbar (Barbotin 2014)

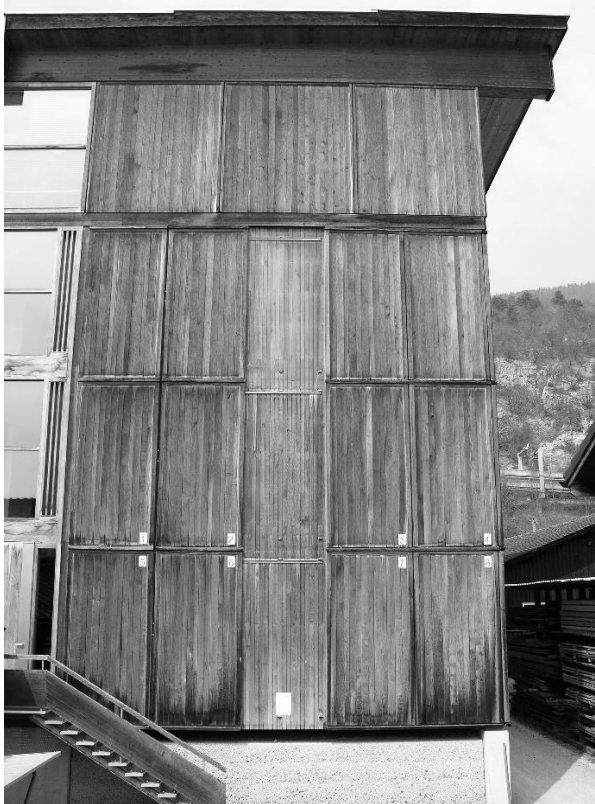


Abbildung 5: Eiche, Südseite der Fachhochschule in Biel/Bienne nach 9 Jahren Bewitterungszeit



Abbildung 6: Südseite der Fachhochschule in Biel/Bienne nach 9 Jahren Bewitterung und anschließender Reinigung

Ein wesentlicher Vorteil, den ungeschichtete Fassaden bieten, ist ihre leichte Renovierbarkeit. Die Oberfläche kann sehr kostengünstig mit handelsüblichen Systemen gereinigt und nahezu in den farblichen Ausgangszustand versetzt werden, was eine Alternative zu den herkömmlichen Beschichtungsvarianten darstellt.

Druckimprägnierung mit wasserbasierten Salzlösungen: Bei den wässrigen Systemen handelt es sich um Lösungen oder Emulsionen ohne Bindemittel. Sie basieren auf reinen Wirkstoffen wie Borsalzen, Kupfer-, Chrom-, oder Arsenverbindungen (Sutter 1997). Wobei beispielsweise Kupfer und Bor als effektive biozide Stoffe wirken und Chrom

zur Fixierung der entsprechenden Wirkstoffe dient. Je nach Produkt können diese Lösungen durch entsprechende Pigmentpasten eingefärbt sein. In den meisten Fällen werden grün oder braun pigmentierte Produkte verwendet. Es gibt auch transparente Systeme auf der Basis von Boraten, welche oftmals in Verbindung mit Oberflächenbeschichtungen verwendet werden.



Abbildung 7: Druckimprägnierte Fassade nach 6 Jahren Nutzungsdauer (ostexponiert), das Erscheinungsbild ist sehr gleichmässig (Volkmer und Höltschi 2008)

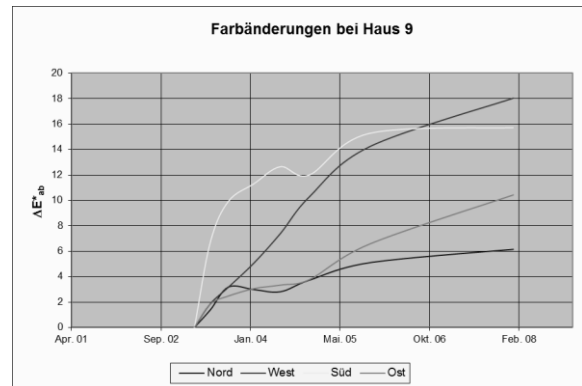


Abbildung 8: Farbveränderung einer druckimprägnierten Holzfassade im Verlauf von ca. 6 Jahren in Abhängigkeit der Exposition (bei unbehandelten Fassaden ist unter gleichen Bedingungen mit Farbänderungen von $\Delta E > 45$ zu rechnen) (Volkmer und Höltschi 2008)

Die Einbringung der Substanzen erfolgt über das Vakuum-Druck oder das Wechselladungsverfahren. Dabei werden Eindringtiefen je nach Holzart von mehreren Zentimetern erreicht. Diese Varianten finden in erster Linie Anwendung für den Einsatz von Bauteilen in Gebrauchsklasse 4 (siehe EN 335), werden aber auch häufig für Fassaden eingesetzt (Abbildung 7). Bei diesen Behandlungsvarianten handelt es sich um einen sehr effektiven Schutz des Holzes mit begrenzten ästhetischen Möglichkeiten. Es ist praktisch kein Unterhalt notwendig und die ästhetische Erscheinung verändert sich über die Jahre nur relativ gering (Abbildung 8). Jedoch kommen teilweise umweltbelastende Stoffe zum Einsatz, welche teilweise in den Untergrund ausgewaschen werden. Detaillierte Ausführungen zum Einsatz von druckimprägnierten Bauteilen im Fassadenbereich finden sich bei Volkmer und Höltschi (2009).

Vorvergrauungs-/Verwitterungslasuren: Bei diesen Systemen handelt es sich in aller Regel um Einschichtsysteme. Die Bindemittelbasis kann dabei sehr unterschiedlich sein. Bei den momentan am Markt erhältlichen Produkten kommen dabei reine oder modifizierte Naturöle oder Bindemittelkombinationen auf synthetischer Basis (z.B. Alkydharze) zum Einsatz. Der Festkörperanteil kann dabei bis zu 50% betragen, was bei einer Holzbehandlung zu einer Filmbildung führt. Die Anwendungs idee für derartige Lasuren besteht darin, dass diese einmalig aufgetragen werden und die behandelten Holzteile anschliessend nicht mehr gepflegt oder unterhalten werden müssen. Durch die Vergrauungslasuren wird die natürliche Vergrauung des Holzes simuliert, wobei ein teilweises Abwittern der Beschichtung sogar gewünscht ist. Dabei kommt es zur Überschneidung von verschiedenen Abwitterungsmechanismen (Beschichtung baut sich ab, freigelegtes Holz vergraut), mit dem Ergebnis, dass die Fassade vom Zeitpunkt der Erstellung über den gesamten Nutzungszeitraum einen einheitlichen grauen Farbton aufweist (Abbildung). Die Praxis hat gezeigt, dass diese Systeme dauerhaft sind und aufgrund der oben beschriebenen Effekte die ästhetischen Anforderungen eines Grossteils der heutigen Kunden erfüllen. Aufgrund der schwierigen Kantenbearbeitung im Profilbereich kann es vorkommen, dass die Schmalflächen nicht ausreichend beschichtet sind und sich dann farblich stark abzeichnen, was teilweise zu Reklamationen geführt hat (Abbildung).

Als Nachteil sind auch die wenigen gestalterischen Möglichkeiten zu nennen, da entsprechend nur Grautöne zum Einsatz kommen, obwohl diese von grün-grau über rot-grau bis blau-grau variieren können. Bei verschiedenen Objekten, welche bereits mehrere Jahre in

Gebrauch sind, wurden teilweise auch deutliche Degradationen und speziell auch Verfärbungen festgestellt. In diesem Zusammenhang ist es oftmals zu einem Farbumschlag der Vorvergrauung in Richtung rot gekommen.



Abbildung 9: Fassade – behandelt mit einer Vorvergrauungslasur, Die Oberfläche wirkt sehr natürlich und ist kaum von einer unbeschichteten, bewitterten Fassade zu unterscheiden.



Abbildung 10: Fasadenschalung mit einer Vorvergrauungslasur behandelt, speziell die Kantenbereiche erscheinen relativ ungleichmässig und die Lasur wird flächig abgebaut.

Öle: Diese Systeme werden teilweise auch als Imprägnierlasuren bezeichnet. Als Bindemittel kommen natürliche Öle und Kombinationen aus Ölen und Alkydharzen zum Einsatz. Sie werden entweder als eigenständige Produkte verwendet, was einen 2-maligen Auftrag erfordert. Sie werden aber auch teilweise als Erstbehandlung für deckende Anstriche eingesetzt. Der Festkörperanteil kann je nach Hersteller stark schwanken und liegt ca. zwischen 15-50%. In der Regel ist die Eindringung sehr gut, weshalb diese Systeme teilweise mit Wirkstoffen zum Bläueschutz ausgerüstet werden. Die Öle kommen in transparenter und pigmentierter Form zum Einsatz, wobei speziell bei den transparenten Varianten je nach Exposition mit kurzen Pflegeintervallen von weniger als 2-3 Jahren gerechnet werden muss.

Funktionalisierte Systeme (Feuchteschutz und/oder UV-Schutz):



Abbildung 11: Hydrophobierte Holzproben auf dem Bewitterungsstand, ein Abperleffekt ist erkennbar, welche jedoch zeitlich begrenzt ist (Volkmer 2008)

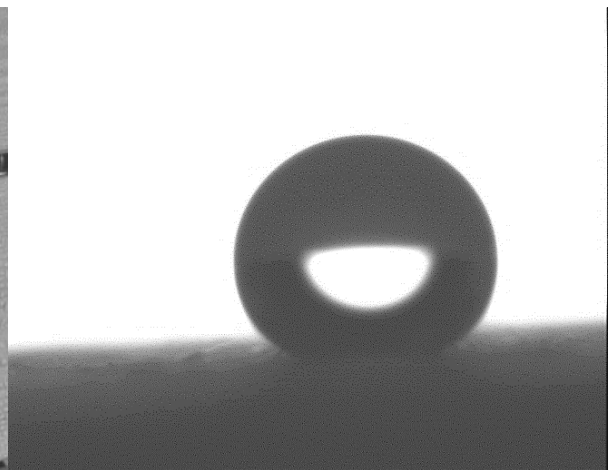


Abbildung 12: Hydrophobierte Holzoberfläche im Ausgangszustand vor der Bewitterung mit ausgeprägtem Abperleffekt (Volkmer 2008)

Bei dieser Produktgruppe werden Systeme eingesetzt welche in erster Linie Wirkstoffe enthalten, welche eine spezifische Funktion auf der Oberfläche ausführen sollen. Dabei soll einerseits flüssiges Wasser durch einen entsprechenden Abperleffekt (Abbildung und 12) von der Oberfläche ferngehalten werden und andererseits der photochemische Abbau der Holzoberfläche verlangsamt werden.

Für den Schutz vor flüssigem Wasser kommen Hydrophobierungsmittel auf der Basis von spezifischen Ölen, Wachsen oder Silikonen zum Einsatz. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Nanostrukturierung der Oberfläche durch den Einsatz von SiO_2 -Nanopartikeln. Durch die Verwendung von UV-Absorbern oder HALS wird der Schutz der Oberfläche vor der energiereichen Globalstrahlung gesteuert. Dadurch wird der Abbau der Oberfläche durch zwei unterschiedliche Mechanismen gesteuert. Einerseits wird die UV-Strahlung in Wärme umgewandelt oder über Strukturänderungen in der chemischen Zusammensetzung abgebaut. Vorteilhaft bei diesen Systemen ist, dass diese teilweise auch auf bestehenden Beschichtungssystemen aufgebracht werden können. Jedoch sind diese Behandlungsvarianten aufgrund des geringen Festkörpergehaltes und des fehlenden Bindemittels nicht dauerhaft und müssen entweder durch schichtbildende Systeme geschützt oder kontinuierlich gepflegt und erneuert werden.

Lasuren (wenig pigmentiert): Lasuren bilden je nach Zusammensetzung einen Film auf der Oberfläche, wobei die Schichtdicke bei Dünnschichtlasuren zwischen 20-30 μm und bei Dickschichtlasuren zwischen 40-80 μm variieren kann. (siehe Böttcher 2003) Die Pigmentierung liegt in der Regel zwischen 0-3% und wird oftmals über die Grundierung in das Holz eingebracht (Abbildung). Deshalb kann durch Lasuren die farbliche Erscheinung von Oberflächen geändert werden, die Textur (Jahrringverlauf) des Holzes bleibt aber weiterhin sichtbar. Aufgrund dieser Eigenschaften gewähren Lasuren einen guten Schutz vor flüssigem Wasser, jedoch kann nur ein Teil der energiereichen UV-Strahlung abgehalten werden. Das hat zur Folge, dass das Holz unter der Lasur modifiziert und abgebaut wird und derartige Systeme je nach Exposition nach 3-4 Jahren renoviert werden müssen, ansonsten ist mit grösseren Schäden zu rechnen und die Instandsetzung wird deutlich aufwendiger (Schmid 1998 a,b). Die Beschichtung wird je nach Anbieter durch 2-3 Anstriche appliziert. Als Bindemittelbasis kommen verschiedene Polymere zum Einsatz wie z.B. Acrylate, Acetate, mod. Alkyde oder Hybride. Aufgrund des Abbaumechanismus der Acrylate (physikalisch trocknend teilweise selbstvernetzend) bleibt im Vergleich zu reinen Alkydsystemen die Elastizität über den Bewitterungszeitraum relativ konstant und die Systeme verspröden nicht. Das wirkt sich positiv auf das Haftungsverhalten und ein verringertes Abplatzen der Beschichtung aus. Im Gegensatz zu den Alkydsystemen erfolgt bei den acrylatbasierten Beschichtungen ein wetterbedingter Abbau mit abnehmender Schichtdicke bei gleichbleibend guter Haftung, Alkydsysteme reißen im Bewitterungsverlauf deutlich schneller und platzen dann grossflächig ab.

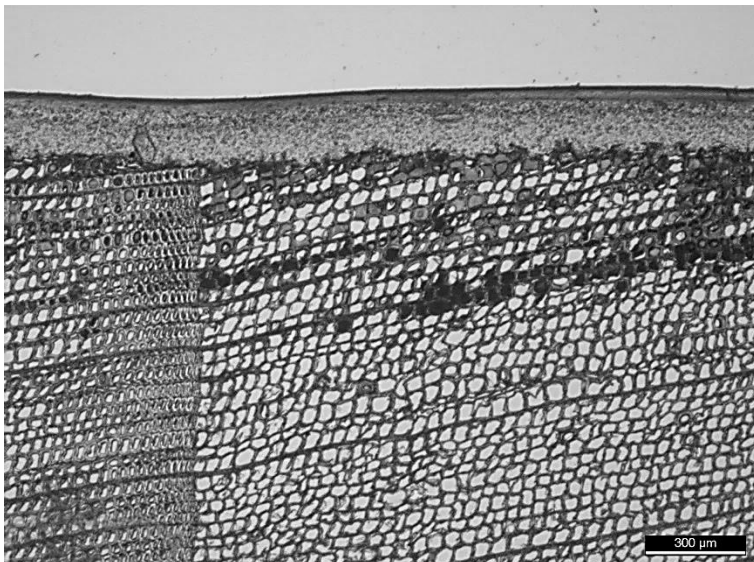


Abbildung 13: Lasierendes System mit transparenter Deckschicht und pigmentierter Grundierung, welche relativ weit in das Holz eindringt (Volkmer 2008)

Lacke pigmentiert: Deckend pigmentierte Systeme sind dadurch charakterisiert, dass sie sowohl die Holzfarbe als auch die Holzstruktur abdecken (Abbildung 14). Daher bieten diese Systeme den besten UV-Schutz, da keine Strahlung bis auf die Holzoberfläche durchdringt und diese abbauen kann. Die Farbstabilität (Abbildung 15) und Witterungsbeständigkeit ist je nach System (Farbton) und Exposition sehr hoch, was zu Renovationsintervallen von deutlich mehr als 6 Jahren führen kann. Hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung sind sie den lasierenden Systemen ähnlich abgesehen vom Pigmentanteil, welcher bei bis zu 10-12% liegen kann. Deckend pigmentierte Systeme werden heute je nach Hersteller mit sehr unterschiedlichem Festkörpergehalt von 25-45% angeboten (Prieto und Keine 2007), was wiederum zu einer breiten Spanne der Schichtdicke für diese Varianten führt (40-120 μm). Wie bei allen bis jetzt genannten Systemen ist eine ausgeprägte Diffusionsoffenheit angestrebt. Aufgrund der polymeren Grundstruktur ist dabei für deckende Beschichtungen system- und feuchteabhängig mit μ -Werten zwischen 2500-3000 zu rechnen ($\mu_{\text{Holz}} \cong 50-100$), was zu s_d -Werten von 1-1.5m führt. Neue Beschichtungssysteme auf mineralischer Basis sind demgegenüber deutlich diffusionsoffener bei μ -Werten von ca. 1000. Derartige Systeme sind eigentlich für mineralische Untergründe konzipiert, da sie die Quell- und Schwindbewegungen von Holz nicht ausgleichen können. Bei neuen Ansätzen ist es unter Verwendung spezieller Grundierungen (organische Bindemittel) möglich, mineralische Farben auch bei Holzfassaden einzusetzen. Dadurch ergibt sich eine sehr widerstandsfähige Oberfläche mit hohem UV- und Feuchteschutz. Derartige Systeme zeigen eine sehr offene Mikrostruktur, wodurch sich die hohe Dampfdurchlässigkeit ergibt, was aber auch eine Verschmutzung und den Befall durch Schimmelpilze unterstützt. Lasierende Systeme auf mineralischer Basis sind nicht im Einsatz.



Abbildung 14: Fassade mit Dickschichtlasur ostexponiert nach 5 Jahren Nutzungsdauer, die Erscheinung ist sehr gleichmässig (Volkmer und Höltschi 2008)

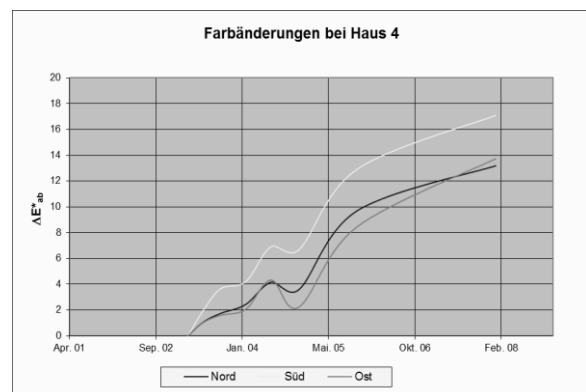


Abbildung 15: Farbveränderung einer Fassade beschichtet mit Dickschichtlasur (gelb) in Abhängigkeit der Exposition und Zeit (bei unbehandelten Fassaden ist unter gleichen Bedingungen mit Farbänderungen von $\Delta E > 45$ zu rechnen) (Volkmer und Höltschi 2008)

Neben den oben beschriebenen Varianten gibt es eine Reihe an Behandlungssystemen, welche nicht klar euzuordnend sind, da es Überschneidungen zwischen den einzelnen Produkten hinsichtlich Pigmentierung, Bindemittelbasis oder Schichtdicke gibt.

Darüber hinaus ist an dieser Stelle noch eine weitere Behandlungsvariante zu nennen, welche momentan von 2 Firmen (in der Schweiz) angewendet wird, dabei handelt es sich um **eine natürliche Vorvergrauung** (Abbildung 17). Dazu werden die Fassadenelemente mehrere Monate dem Wetter exponiert ausgesetzt, um den Alterungsprozess zu beschleunigen. Der Vorgang wird dabei je nach Verfahren durch eine Behandlung mit einer Sporensuspension unterstützt, was zu einer schnelleren Kolonialisierung der Oberfläche durch ausgewählte Schimmel-/Bläuepilze führt (Abbildung). Entsprechende Produkte sind unter der Bezeichnung «ecogris» oder «Biodd» am Markt erhältlich.

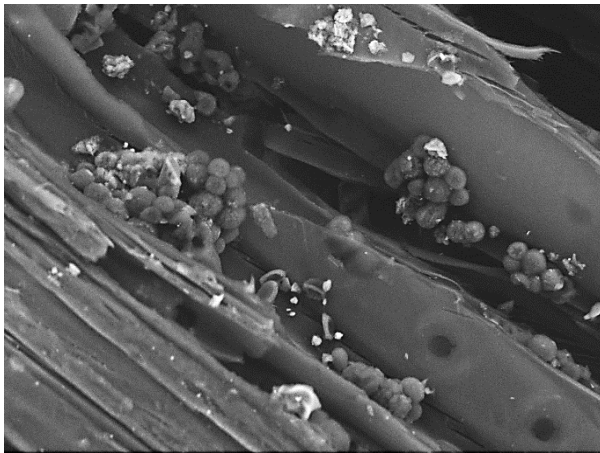


Abbildung 16: Elektronenmikroskopische Aufnahme einer natürlich vorvergrauten Holzoberfläche, bekannt unter dem Namen Bioood, es sind deutliche Ablagerungen von Pilzsporen zu sehen, sowie eine leichte Degradation (Längs- und Querrisse) des Holzverbundes (Volkmer 2008)



Abbildung 17: Vorvergraute Fassade (westexpnirt) nach 5 Jahren Nutzungsdauer, das Erscheinungsbild ist relativ gleichmässig und vermittelt den natürlichen Holzcharakter (Volkmer und Höltschi 2008)

4. Zusammenfassung

Holzoberflächen bei Anwendungen im Aussenbereich sind ähnlich wie andere Bauteiloberflächen (von Beton, Glass, Kunststoff u.a.) einer Vielzahl an Einflussfaktoren ausgesetzt. Diese können zu einer starken Erosion und einer Zerstörung der Oberflächen und des gesamten Bauteils führen. Sonnenstrahlung, und Feuchtigkeit sind die wichtigsten Faktoren. Wenn diese in Kombination auftreten, laufen verschiedene Mechanismen ab, welche zu einem photo-chemischen Abbau der Oberfläche führen. Eine traditionelle Methode Holzoberflächen vor einem solchen Abbau zu schützen ist der Einsatz von diversen Beschichtungen. Die wesentlichen Anforderungen an solche Systeme sind:

- Abhalten von flüssigem Wasser bei gleichzeitiger Diffusionsoffenheit
- Schutz vor UV-Strahlung
- Gewährleistung einer guten Haftung auf dem Substrat
- Vielfältige optische Gestaltungsmöglichkeiten
- Lange Renovationsintervalle

Neben klassischen Beschichtungssystemen gibt es noch chemische und thermische Modifizierungsvarianten durch welche das Holz und die Holzoberflächen ebenfalls geschützt werden.

Nutzungsbedingt stehen Fassaden nicht in direktem Erdkontakt und bei fachgerechter Konstruktion ist ein kontinuierliches Austrocknen auch immer wieder gewährleistet. Von daher ist ein chemischer Schutz vor holzerstörenden Pilzen und Insekten nicht notwendig, obwohl teilweise derartige Systeme im Fassadenbereich angewendet werden. Die filmbildenden Beschichtungssysteme, Lasuren und stark pigmentierte Lacke, sind durch europäische Normen hinsichtlich der zu erfüllenden Anforderungen spezifiziert, wodurch auch eine Qualitätskontrolle möglich ist. Der gesamte Bereich der nichtfilmbildenden Systeme umfasst ein sehr breites Spektrum und ist nicht durch Normen erfasst, weshalb eine qualitative Bewertung sehr schwierig ist. Das liegt auch darin begründet, dass derartige Systeme sehr spezifisch sind und oftmals nur einen Aspekt des Oberflächenschutzes abdecken (Feuchteschutz oder UV-Schutz oder farbliche Gestaltung). Gerade bei den nichtfilmbildenden Systemen finden sich eine Reihe an transparenten Varianten. Diese Art der Oberflächenbehandlung ist aus Sicht der Bauherrschaft oft gewünscht, bedarf aber eines regelmässigen Unterhalts in kurzen Zeitintervallen, was für mehrgeschossige Objekte nicht realistisch ist.

Es besteht auch die Möglichkeit Holzfassaden nicht zusätzlich zu behandeln. Das führt zu einem natürlichen Vergrauungsprozess, welcher je nach Konstruktion der Fassade mehr oder weniger gleichmässig ausfällt. Bei einer entsprechenden Beratung der Bauherrschaft, handelt es sich hierbei um einer sehr kostengünstige Variante, bei welcher es jedoch keine optischen Gestaltungsspielraum gibt. Es besteht jedoch die Möglichkeit derartige Fassaden längerfristig zu reinigen. Dieser Prozess ist sehr einfach aber äusserst effektiv. Bei geringem Material- (Wasser) und Arbeitsaufwand lassen sich derartige Fassaden relativ leicht wieder in den Neuzustand versetzen.

5. Literatur

- [1] Barbotin S (2014): Micro-preparation of wooden samples to study the distribution of natural glue systems in wood, Master Thesis EPFL
- [2] Böttcher P (2003): Beschichtungen von Holz und Holzwerkstoffe im Aussenbereich, in: Lackhandbuch Holz (2003), DRW Verlag
- [3] Desai RL (1968): Photo degradation of Cellulosic Materials – A Review of the Literature, Pulp and Paper Magazine of Canada 16/8, 53-61
- [4] Derbyshire H and Miller ER (1981). The Photodegradation of Wood during Solar Irradiation, Holz als Roh- und Werkstoff 39, 341-350.
- [5] Emmler R (2003): Abschlussbericht zur Verschmutzungsneigung von Möbeloberflächen, ihd-Dresden
- [6] Erler K (2002): Holz im Aussenbereich, Birkhäuserverlag
- [7] Feist W, Hon D (1984): Chemistry of Weathering and Protection, aus «Chemistry of solid wood» Advances in Chemistry Series No. 207 by Rowell R.M, American chemical Society`s, 401-451
- [8] Frank W (1973): Einwirkung von Regen und Wind auf Gebäudefassaden, Wilhelm Ernst & Sohn, Sonderdruck aus: Berichte aus der Bauforschung 86
- [9] Ganne-Chédeville C, Volkmer T, Letsch B (2010). Nachhaltige Reinigung von unbehandelten Holzfassaden - Ergebnisse aus laufenden Forschungsprojekten, SAH Tagung 26.-27.10.2010 Weinfelden, Konferenzpapier
- [10] Geiser M (2005): Einfluss des Schlagregens auf die farbliche Veränderung von Holzoberflächen, unveröffentlichte Feldstudie, Hochschule für Architektur, Bau und Holz
- [11] Hon DN-S (2000). Photochemistry of wood, In: Hon D.N.-S., Shiraishi N. (Ed.): Wood and Cellulose Chemistry, Kap. 11, 525-555, New York, Mark Dekker.
- [12] Meijer dM, Millitz H (2001): Moisture Transport in coated Wood. Part 2: Influence of coating type, film thickness, wood species and moisture gradient on kinetics of sorption and dimensional change, Holz als Roh- und Werkstoff 58, 467-475
- [13] Schmid EV (1998a): Aussenbewitterung von Holzlasuren, Applica 3, 10-17
- [14] Schmid EV (1998b): Renovation von abgewitterten Holzlasuren, Applica 18, 2-6
- [15] Schulz H, Böttcher P, Neigenfind W (1973): Einfluss einiger Anstrichsysteme und Farbtönungen auf den Feuchtehaushalt natürlich bewitterter Holzproben, Holz als Roh- und Werkstoff 31, 132-137
- [16] Schwarze FWMR (2003): Vorlesungsskript Holzmodifikation, Universität Freiburg
- [17] Sell J (1981): Klimabedingungen und Wetterbeanspruchung von Aussenbauteilen, in Holz aussenverwendung im Hochbau (Willeitner H., Schwab E.), Verlagsanstalt A. Koch GmbH Stuttgart
- [18] Sell J (2001): Oberflächenschutz von Holzfassaden, Lignatec/ Die technischen Holzinformation der Lignum 13

- [19] Sell J, Graf E, Richter S und Fischer J (1995): Holzschutz im Bauwesen, Lignatec 1
- [20] Selter W (2007): Neue Entwicklungen in der Behandlung von Holzoberflächen, Applicia 8
- [21] Turkulin H, Sell J (2002): Investigations into photodegradation of wood using microtensile testing. Holz als Roh- und Werkstoff, 60(2), 96-105
- [22] Volkmer T (2006): Oberflächenbehandlung von Holz im Aussenbereich, Applicia 8, 2-5
- [23] Volkmer T (2008): Schimmelpilze auf beschichteten Holzfassaden – physikalische und chemische Einflussfaktoren, Dissertation Uni Freiburg i.Brsg.
- [24] Volkmer T, Höltschi Ch (2008): Wirtschaftlichkeitsvergleich verschiedener Holzschutzmassnahmen im Aussenbereich, Forschungsbericht BFH NR. 6746-SB-01
- [25] Volkmer T, Höltschi Ch (2009): Holzfassaden verändern ihre Farbe, Applicia 5, 12-16
- [26] Volkmer T, Arietano L, Plummer C, Strautmann J, Noël M (2013): Loss of tensile strength in cellulose tissue on the surface of spruce (*Picea abies*) caused by natural photodegradation and delignification, Polymerdegradation and Stability, 98 (6), pg. 1118–1125
- [27] Williams RS, Knaebe MT, Sotos PG, Feist WC (2001a). Erosion Rates of Wood during natural Weathering: Part 1 Effects of Grain Angle and Surface Texture, Wood and Fiber Science, 33(1) 31-42.
- [28] Williams RS, Knaebe MT, Sotos PG, Feist WC. (2001b). Erosion Rates of Wood during natural Weathering: Part 2 Early Wood and Late Wood Erosion Rates, Wood and Fiber Science, 33 (1) 43-49.
- [29] SN EN 927 Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Aussenbereich: 1-6
- [30] EN 335 Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Gebrauchsklassen: Definitionen, Anwendung bei Vollholz und Holzprodukten; Deutsche Fassung EN 335:2013

Funktionen einer Gebäudehülle in Form von Holzelementfassaden

Oliver Fried
Leitung Projektvertrieb
Rubner Holzbau GmbH
Augsburg, Deutschland



Funktionen einer Gebäudehülle in Form von Holzelementfassaden

1. Einleitung und Abgrenzung

Holzelementfassaden im Anwendungsfall **Holz-Hybridbau** und Konstruktionsart **vorgefertigter Holztafelbau**.

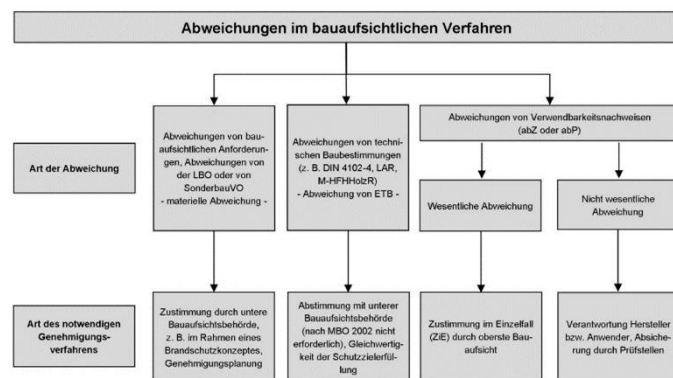
2. Funktionen und Anforderungen

Funktionen:

Architektur und Design, Nachhaltigkeit, Statik (tragend/nichttragend), Brandschutz, Witterungsschutz, Wärmeschutz, Schallschutz, Sonnenschutz, Absturzsicherung, Gebrauchstauglichkeit, Sonderanforderungen, wie z.B. Einbruchschutz, Beschusssicherheit, etc...

Anforderungen:

Öffentliches Baurecht (Landesbauordnungen, Sonderbauordnungen, etc...), Möglichkeiten von Abweichungen und entsprechenden Kompensationsmaßnahmen, Privatrechtliche Vereinbarungen, Normen und Zulassungen, Zulassungen im Einzelfall, Fertigungsmöglichkeiten, Transport und Baustellenlogistik, Baustelleneinrichtung und Montage, etc...



3. Vergabepaket Teil-GU-Holzbau

Ziel!

- Maximale Vorfertigung in witterungsgeschützten Werkhallen unter optimalen Organisations-, Fertigungs- und Arbeitsbedingungen.
- Klare und einfache Schnittstellen für Planung und Ausführung.

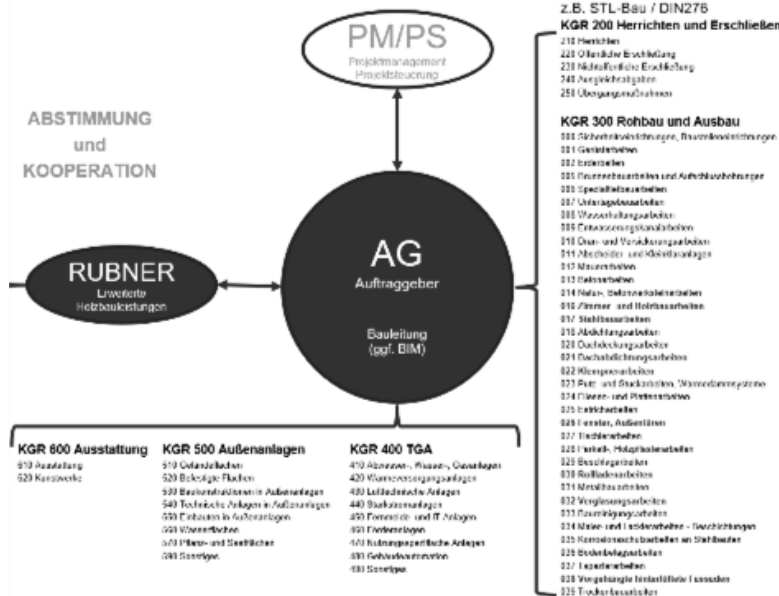


Warum?

- Sicherstellung einer gleichbleibend hohen Planungs- und Ausführungsqualität.
- Maximale Montagegeschwindigkeit auf der Baustelle, Montieren statt Bauen.
- Verkürzte Bauabläufe.
- Maximale gesamtwirtschaftliche Projektlösungen.

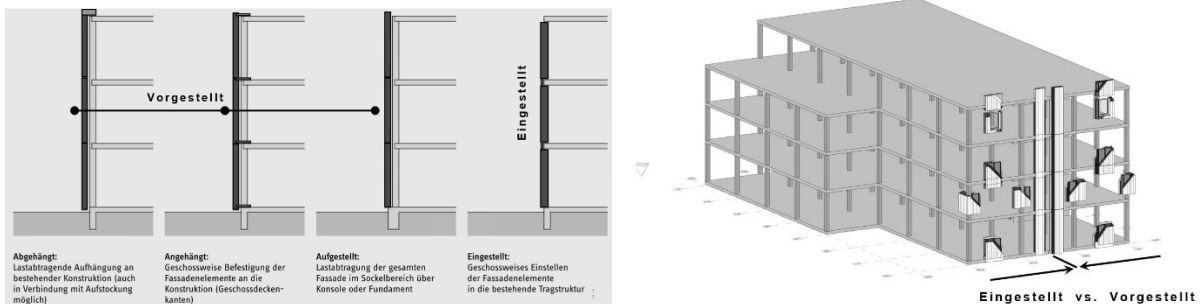
Was ist dafür notwendig?!

Vergabe als Teil-GU-Holzbau, teilweise gewerkeübergreifend in einem Vergabepaket, erweiterte Holzbauleistungen: Holzbauleistungen, Fenster und Fenstertüren, Pfosten-Riegel-Fassaden, Sonnenschutz, Fassadenbekleidungen, Spenglerleistungen, weitere Bauteile, wie z.B. Geländer und Absturzsicherungen, Balkone, Loggien und Laubengänge.



4. Lastabtrag und Konstruktionsprinzipien

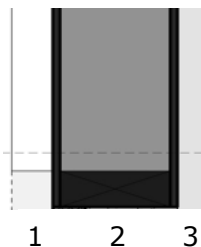
Vorgestellte vs. Eingestellte Holzelemente



Grad der Vorfertigung, Elemententeilung und Elementgrößen

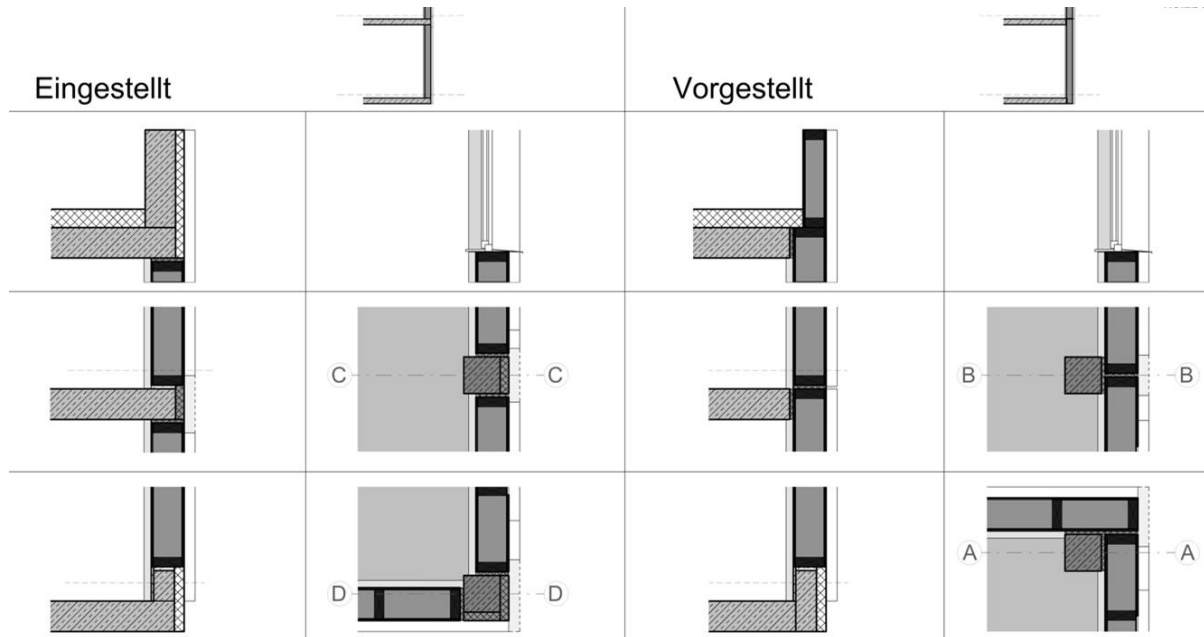
Bauteilschichtengruppen:

- 1 Äußere Bekleidungen
- 2 Holzelementkonstruktion
- 3 Innere Vorsatzschale



5. Allgemeine Prinzip-Details

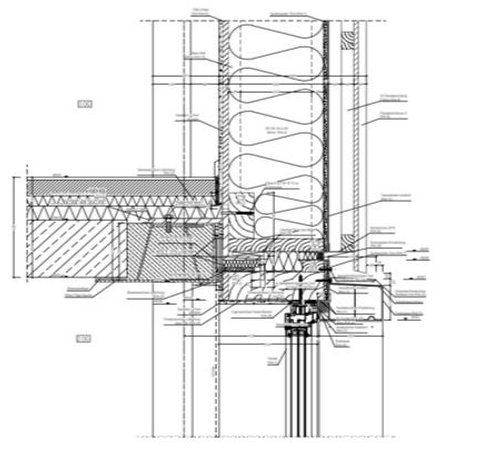
Detailmatrix und Sondersituationen, Balkone, Loggien und Laubengänge:



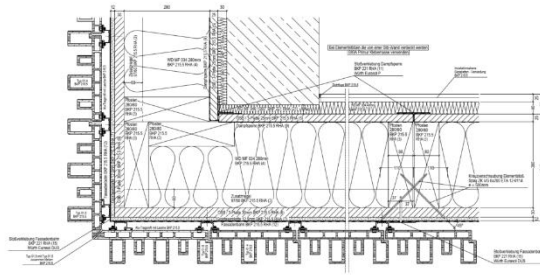
6. Individuelle Projekt-Details

Entstehende Komplexität aus einer Vielfalt an Kombinationsmöglichkeiten der Anforderungen, Lösungen und geometrischen Randbedingungen.

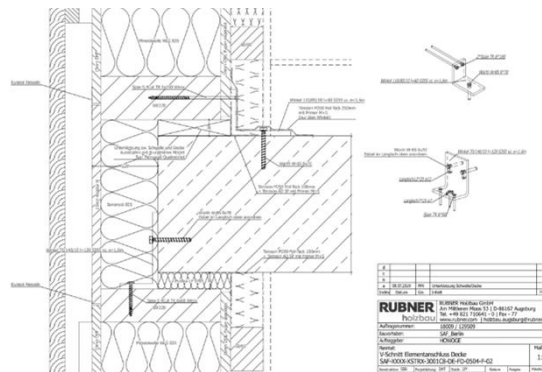
6.1. Projektbeispiel Wohnanlage Variowohnen Bochum (DE)



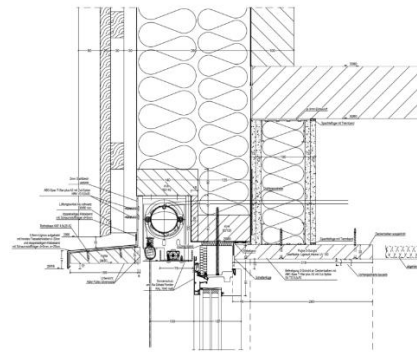
6.2. Projektbeispiel Student Village ETH Zürich (CH)



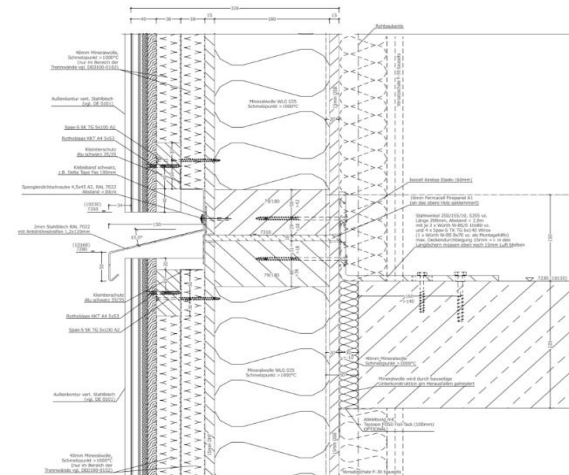
6.3. Projektbeispiel Wohnanlage Straße am Flughafen Berlin (DE)



6.4. Projektbeispiel Grünes Zentrum Kaufbeuren (DE)

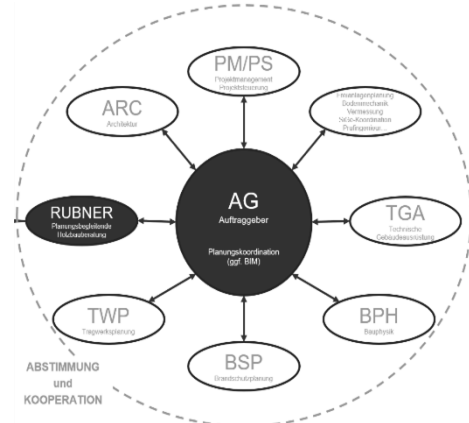


6.5. Projektbeispiel Hotel Garmisch-Partenkirchen (DE)

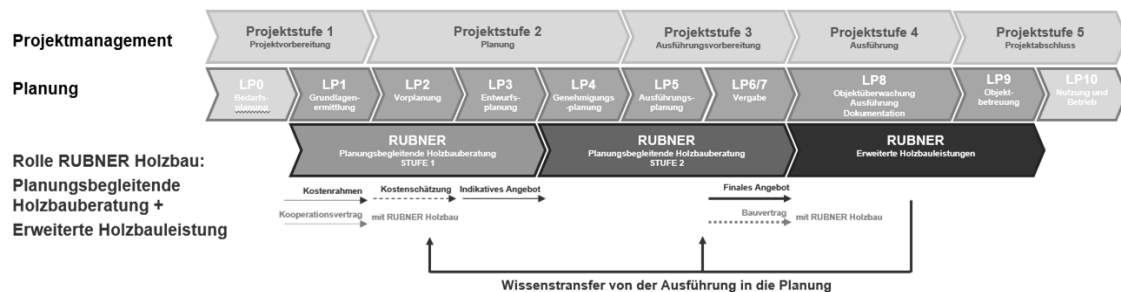


7. Projektentwicklung mit timberLEAN by Rubner

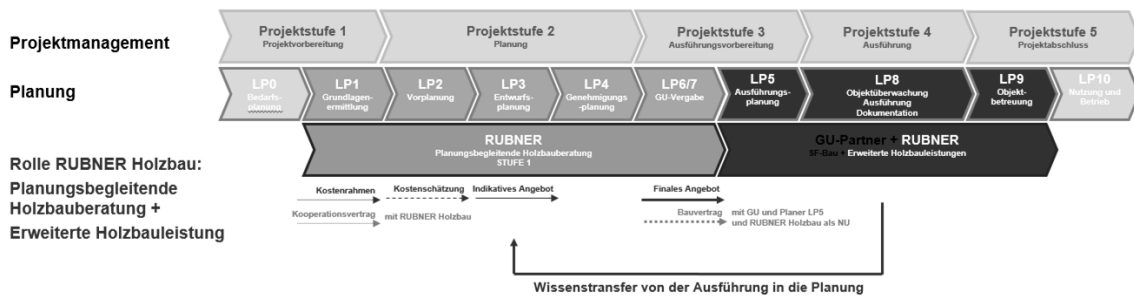
Holzbau-Wissenstransfer in frühen Projektphasen mit optimierten Planungsprozessen für Projekte in vorgefertigter Holzbauweise:



7.1. Holzbau-Modell: Beraten und Bauen mit Holz



7.2. GU-Modell: Beraten, Planen und Bauen mit Holz



7.3. GÜ-Modell: Beraten, Entwerfen, Planen und Bauen mit Holz



8. Rubner Holzbau Was machen wir sonst noch?

Geschäftsfelder Rubner Holzbau:



9. Rubner Gruppe: Wer sind wir?

Die Rubner Gruppe: Holzleidenschaft seit mehr als 90 Jahren, europaweit einzigartige und lückenlose Wertschöpfungskette in Sachen Holz, familiengeführt in der vierten Generation.

Geschäftsbereiche Rubner Gruppe:



**Welche Rolle wird und kann der Holzbau
in Zukunft spielen**

Vom Quartier WIR zum WoHo

Thomas Bestgen
UTB Projektmanagement GmbH
Berlin, Deutschland



Vom Quartier WIR zum WoHo

1. 25 Jahre UTB: Eine Evolution in der nachhaltigen Quartiersentwicklung

Nachhaltigkeit. Dieser Begriff hat sich tief in das ökologische Bewusstsein eingepreßt. Für uns als Projektentwickler ist das jedoch zu einseitig betrachtet. Denn die soziale Nachhaltigkeit, der wir uns vor allem verpflichtet fühlen, ist für den Zusammenhalt unserer Gesellschaft von enormer Bedeutung. Nachhaltigkeit ist komplex, die Urbanisierung unserer Städte erfordert ein neues Denken, das sozialverträgliche und ökologische Konzepte zukunftsfähig macht. Das von Anfang an holistisch geplant wird und die Themen Mobilität und ein nachgelagertes Quartiersmanagement mitdenkt, das Anwohner*innen sowie zukünftige Nutzer*innen einbezieht. Daher sind für UTB – ein privates, inhabergeführtes Unternehmen mit rund 45 Mitarbeitenden – nachhaltige Stadtquartiere kein wirtschaftlicher Faktor, sondern eine Haltung, die Antworten auf die Frage beantwortet, wie, wo und wann wir leben und arbeiten wollen.

1.1. Es begann in Weimar

Erste Erfahrungen mit dem ressourcenschonenden Bauen aus Holz konnten wir erstmalig ab 2015 mit dem Bau eines Mehrfamilienhauses in Weimar sammeln, das bis heute zum Bestand von UTB gehört. Mitten in einem Ensemble von prachtvollen Baudenkmalern in der Westvorstadt entstand ein moderner und zeitgemäßer Neubau mit insgesamt 500 m² Wohnfläche, verteilt auf vier Wohnungen. Ein kleines Grundstück in einem Sanierungsgebiet, dazu hohe architektonische Anforderungen – hier bot sich Holz als Baustoff durch seine vielen Vorteile an. Seine schlanke Bauweise kam besonders zum Tragen und ermöglichte den Grundrissen etwas mehr Raum. Mit einem Baukörper vollständig aus Holz setzen Vor- und Rücksprünge und eine lebendige Fassadengestaltung architektonische Akzente. Lediglich das außen angesetzte, farblich abgesetzte Treppenhaus wurde in massiver Sichtbetonbauweise ausgeführt. Alle Innenwände, Fenster und Dämmstoffe bestehen ebenfalls aus Holz und Holzfasern. Auch beim Heizen spielt Holz eine wesentliche Rolle durch eine Pelletheizung (Biomasse), die dem gesamten Gebäude Heizenergie und Brauchwasserwärme liefert. 2017 wurde das Projekt mit dem Thüringischen Staatspreis, Sonderpreis Holzbau, ausgezeichnet.



Abbildung 1: Auskragungen und Vorsprünge des Mehrfamilienhauses in Weimar als moderne Antwort auf die benachbarten Jugendstilbauten mit Türmchen und Erkern. Eine besondere Gestaltungsqualität erhält der Holzbau durch das entkoppelte Treppenhaus aus Sichtbeton. (Bildquelle: UTB Projektmanagement GmbH)

1.2. Vom Mehrfamilienhaus zum Stadtquartier aus Holz

Das ressourcenschonende Bauen und die vielfältigen Qualitäten von Holz haben uns überzeugt, ein ganzes Stadtquartier in Berlin-Weißensee aus Holz zu entwickeln, als sich ein rund 7.200 m² großes Grundstück in ruhiger und baumreicher Lage anbot. Das Quartier WIR mit seinen fünf Gebäuden und 12.000 m² Nutzfläche zeichnet sich durch einen lebendigen Mix an barrierearmen Wohnungstypologien für Familien, Singles, Jung und Alt aus allen sozialen Schichten aus. Während ein Gebäude mit 38 Eigentumswohnungen und fünf Geschossen geplant wurde, ermöglichen die für die «BeGeno16 – Besser Genossenschaftlich Wohnen von 2016 eG» entwickelten Häuser genossenschaftliches Wohnen. Durch die Kooperation mit sozialen Trägern sind Wohngemeinschaften in sogenannten Clusterwohnungen für Kinder- und Jugendliche sowie an Demenz Erkrankte entstanden. Darüber hinaus bieten sechs Wohnungen Flüchtlingen eine neue Heimat, die dank privater Patenschaften für Genossenschaftsanteile zu sozialverträglichen Mieten zur Verfügung gestellt werden konnten.

Bereits die Aufgabenstellung für den Wettbewerb enthielt Zielsetzungen über die gewünschte Durchmischung, Nutzungsvielfalt, Stadtraum- und Architekturqualitäten und ökologische Nachhaltigkeit auf der Basis des KfW-Effizienzhaus 40 Standard. Das Quartier mit seinen vier- bis fünfgeschossigen Gebäuden und insgesamt 160 Wohneinheiten sollte integrierend nicht nur nach innen, sondern auch in die umliegende Nachbarschaft ausstrahlen.

Daher sind die Gebäude dialogisch angeordnet und durch eine attraktive Außenraumgestaltung mit Quartiersplatz ergänzt. Vielfältige Begegnungs- und Gemeinschaftsflächen wie ein Multifunktionsraum, eine Nachbarschaftswerkstatt, aber auch eine Kita und sich immer wieder überlagernde Wegebeziehungen unterstützen den kollektiven Gedanken einer funktionierenden, lebendigen Nachbarschaft.



Abbildung 2: Nur die Balkonunterseiten lassen erahnen, dass die Außenwände aus Holz bestehen. Eine Holzfaserverplatte dient als äußere Dämmschicht und ist mit einer Armierung und mineralischem Putz versehen. (Bildquelle. Erik-Jan Ouwerkerk)



Abbildung 3: Das sichtbare Holz der Fußböden, Decken und Stützen bietet ein behagliches Wohngefühl und visuellen Komfort in den Wohnungen im Quartier WIR. (Bildquelle: Erik-Jan Ouwerkerk)

Die Frage, was eigentlich lebendige Quartiere ausmacht, stellten wir in einem Forschungsprojekt in Kooperation mit der Hochschule Luzern, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP). Im Vergleich mit erfolgreichen urbanen Quartieren im In- und Ausland lernten wir, dass neben klug geplanten Wegebeziehungen und Begegnungsflächen Aktivitäten wie Schwimmen und Essen über alle sozialen Strukturen und Altersgruppen verbinden. Wissenschaft als Grundlage für die Programmierung und für die Planer*innen: Daher wurde ein kleines Schwimmbad für die Bewohner*innen und die Nachbarschaft sowie ein Ausbildungsrestaurant in die Quartiersplanung integriert.

Das Quartier WIR ist ein kleines Stadtviertel in Holzhybrid-Bauweise mit einem Anteil von Holz an der Konstruktion von 70 %: Die Keller und Erschließungskerne mit Treppenhäusern und Fahrstühlen sind in Beton errichtet, die Außenwände in Holztafelbauweise und Decken aus Massivholz ausgeführt. Die Einblasdämmung besteht aus recycelter Zellulose. Insgesamt wurden rund 7.000 m² Holz für die Rahmenbauwände sowie 3.200 m² für Decken und Wände verbaut. Die CO₂ Bank bestätigte im September 2020, dass der Holzanteil in den Gebäuden der Atmosphäre dauerhaft 3.473 Tonnen CO₂ durch die Bindung im verbauten Holz entzieht; somit leistet das Quartier WIR einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz.

Die an das Fernwärmenetz angeschlossene Wärmeversorgung erfolgt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, die in den Treppenhäusern in abgehängte Decken untergebracht ist und jeweils bis zu vier angrenzende Wohnungen versorgt. Die Beheizung in den Wohnungen selbst wird durch Niedertemperaturheizkörper und Bodenkonvektoren unterstützt. Die Warmwasserbereitung erfolgt über dezentral angeordnete Frischwasserstationen.

Zur Verbesserung des Mikroklimas sind die Dächer mit rund 2.400 m² extensiv begrünt. Zwei großzügige Gemeinschaftsdachterrassen werden von den Bewohner*innen der genossenschaftlich organisierten Wohnungen gemeinsam als Dachgärten begrünt und genutzt. Zusammen mit den kleinen Eigentumsgrärten, den Grünflächen im gesamten Quartier und dem Spielplatz wird das Stadtklima bei gleichzeitig hoher Wohnungsdichte verbessert. Das Niederschlagswasser wird in Rigolen gesammelt und verdunstet.

Ein weiterer großer Vorteil von Holzbauten ist der hohe Vorfertigungsgrad, der die Standardisierung von Haustypen und Bauelementen (Fenstertypen, Fassadenelementen, Stützrastern) ermöglicht und so zur Wirtschaftlichkeit zugunsten umfassender Gemeinschaftsflächen beiträgt. Der holistische, nachhaltige Ansatz des Quartiers WIR wurde 2020 mit dem Bundespreis UMWELT & BAUEN in der Kategorie «Quartiere» mit dem Hauptpreis ausgezeichnet. Die Jury der Auslober – Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt

– prämierten den gemeinschaftlichen Planungsprozess, die Integration unterschiedlicher sozialer Gemeinschaften, die positive Ökobilanz durch den Holzbau und den KfW-40-Standard sowie die Maßnahmen zur Luftqualität.



Abbildung 4: Die Erschließungskerne mit Treppen und Fahrstuhl bestehen aus Sichtbeton mit farblich unterschiedlichen Akzenten. Oberlichter in allen Treppenhäusern sorgen für eine natürliche Belichtung. (Bildquelle: Erik-Jan Ouwerkerk)



Abbildung 5: Ein echter Mehrwert für Mieter*innen und Nachbarschaft, das Schwimmbad mit einem rund 65 m² Becken. (Bildquelle: UTB Projektmanagement GmbH)

1.3. Das Wohnhochhaus WoHo – die Transformation eines Stadtquartiers aus Holz von der Horizontalen in die Vertikale



Abbildung 7: Die Fassaden des WoHo in der Schöneberger Straße sind repetitiv durch ein Grundraster. Die Module werden in unterschiedlichem Umfang mit Glas und anderen Fassadenmaterialien gefüllt und modular vorgefertigt. Für die Erstellung der Fassade gibt es 9 Grundmodule, was eine hohe Varianz bei gleichzeitiger Standardisierung und Kostenoptimierung ermöglicht. (Bildquelle: Mad arkitektur)

Das Wohnhochhaus WoHo will das Erfolgsmodell der typischen Kreuzberger Stadtstruktur und des Berliner Blocks neu interpretieren und in die Vertikale bringen. Dieses ambitionierte Projekt ist unsere logische Konsequenz – und, um nicht zu sagen eine Evolution – unserer 25-jährigen Erfahrung in der Entwicklung von heterogenen und Gemeinwohl orientierten Quartieren.

Der Standort in der Schöneberger Straße in Berlin-Kreuzberg sah seine letzte große Entwicklung noch während der Mauerzeiten, als hier und im weiteren Umfeld in den 1980er Jahren die Internationale Bauausstellung IBA durchgeführt wurde. Daher soll das WoHo auch als Chance dienen, dass durch ein beispielhaftes neues Hochhaus mit einem bezahlbaren, grünen, zugänglichen und gemischten Angebot neue Impulse freigesetzt werden.

15 % der Fläche im WoHo ist für die soziale Infrastruktur geplant, 25 % für gewerbliche Einrichtungen und 60 % für das Wohnen. Dieses gliedert sich zu je einem Drittel in mietpreisgebundene Wohnungen, bezahlbare freifinanzierte Wohnungen und Eigentumswohnungen. Dabei werden ganz unterschiedliche Typologien berücksichtigt, darunter Wohnformen für soziale Träger wie betreutes Wohnen von Jugendlichen und an Demenz Erkrankte sowie Studios vorzugsweise für Studierende. Die Anordnung der Wohnungen folgt ebenfalls dem Prinzip der ganzheitlichen Gebäudeprogrammierung und so ist die Durchmischung auch auf Etageebene gegeben.

Die Projektgrundlage ist unter frühzeitiger Beteiligung von Genehmigungsbehörden und Stadtakteuren als Ergebnis eines mehrjährigen Planungs- und Partizipationsprozesses mit mehreren Workshops und gutachterlichen Stellungnahmen entstanden. Die Projektierung des WoHo deckt 1:1 das neue Berliner Hochhausleitbild; in der Tat wird es weitaus mehr Bedingungen durch eine intensivere soziale Mischung und größere Bandbreite an Nutzungsangeboten erfüllen. Der zweiphasige städtebauliche Wettbewerb, an dem 14 Architekturbüros aus dem In- und Ausland teilnahmen, sollte daher Lösungen aufzeigen, wie neben der Positionierung des Hochhauses auf dem Grundstück, Kubatur und Architektur insbesondere auch die Projektphilosophie umgesetzt werden können. Eine Holzbaukonstruktion war von Anfang an ein elementarer Grundpfeiler der Projektidee und Bestandteil der Ausschreibung, ebenso wie der KfW-40-Standard.

Eine Jury aus Vertreter*innen des Landes Berlin, des Bezirks, renommierten Fachleuten und uns als Bauherrenschaft entschied sich für den Beitrag von Mad arkitektur. Das Team aus Norwegen präsentierte einen überzeugenden Entwurf aus vier Baukörpern mit einem 98 Meter hohen, zentralen Turm und 29 Geschossen. Die drei den Wohnturm umgebenden Baukörper werden 5, 7 und 9 Geschosse aufweisen; das Gebäude an der Straßenflucht wird mit 22 Metern berlintypisch in die Höhe ragen. Durch die unterschiedlichen Bauhöhen erzeugen die Baukörper ein abwechslungsreiches Gesamtbild.



Abbildung 7: Abgerückt von der Schöneberger Straße fügt sich das WoHo städtebaulich angemessen in seine Umgebung, wirkt identitätsstiftend und öffnet sich zum Grünzug Anhalter Steg. (Bildquelle: Mad arkitektur)

Das Konzept der Architekten sieht auf dem 3.070 m² großen Grundstück einen aktiven Sockelbereich vom Erdgeschoss bis zur 7. Etage mit einer verbindenden Außentreppe vor, der durch ein niedrigschwelliges, vielfältiges Angebot an öffentlichen und halböffentlichen Einrichtungen und Gewerbeflächen für die Nahversorgung ganz bewusst eine Einladung an die Umgebung ausspricht. Das Angebot an die Öffentlichkeit wird auf der Dachterrasse fortgeführt und bietet ergänzende Möglichkeiten für ein Café oder eine Bar.

Das gesamte Gebäude mit ca. 27.800 m² BGF wird als Skelettkonstruktion in Holzbauweise ausgeführt. Lediglich Keller und Erschließungskerne werden in armiertem Beton erstellt. Der weitere Einsatz von Stahl beschränkt sich auf wenige Verbindungen und Verstärkungen. Die Holzkonstruktion besteht aus einer tragenden Rahmenkonstruktion von Säulen und Trägern in Brettschichtholz mit Massivholzdecken. Alle Stützen sind durchlaufend, Brettsperrholzdecken kragen in Teilen bis zu drei Meter aus. Sichtbares Holz in der Fassade soll dazu beitragen, dass das WoHo mit der angrenzenden Parklandschaft harmoniert. Das Brandschutzkonzept sieht u.a. feuerhemmende Gipsfaserplatten, eine Sprinkleranlage in der Fassade und eine Projektierung der tragenden Holzkonstruktion mit dem Brandwiderstand R120 vor.

Der Holzhybridbau strebt das Cradle-to-Cradle-Prinzip der konsequenten Kreislaufwirtschaft an: Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft, modulare Vorfertigung von Säulen, Trägern, Decken, Badzellen und Wänden zur Reduzierung von Emissionen und Bauzeit, ein innovatives Energie- und Mobilitätskonzept, der Einsatz nachhaltiger und recycelter Materialien und ein um 50 % reduzierter Wasserverbrauch durch den hohen Grauwassernutzungsgrad, Regenwasserspeicher für WC und Bewässerung sowie Vakuumtoiletten.



Abbildung 8: Die öffentlichen Räume befinden sich im Sockelbereich und werden durch die außenliegende Treppe verbunden. Sie werden durch Sauna und Bar oder Café im Dachgeschoss ergänzt. Mit alltäglichen Nutzungen sind sie als Treffpunkt der Nachbarschaft auf mehreren Geschossen entwickelt, um die Inklusion auf allen Ebenen zu fördern. (Bildquelle: Mad arkitekter)

Als Niedrigenergiehaus produziert das WoHo eigene thermische und elektrische Energie, reduziert den CO₂ Ausstoß und den Wasserverbrauch um 50 %. Alle Dächer werden extensiv begrünt, dienen als Wasserreservoir und verringern gleichzeitig die Aufwärmung der Baukörper.



Abbildung 10: Das von der Fassade abgeleitete Raster wird sich auch in den Außenanlagen fortsetzen. (Bildquelle: Mad arkitekter)



Abbildung 9: Sichtbares Holz in Decken, Fußböden, Wände und Stützen für ein authentisches Wohngefühl in einem Holzhochhaus. (Bildquelle: Mad arkitekter)

Intelligente und doch einfache Systeme der Sharing-Economy in Mobilität und Dienstleistung sollen zusätzlich zur Ressourcenschonung beitragen. Die Reduzierung des fahrenden Privatverkehrs wird einerseits durch weniger Fahrzeugstellplätze unterstützt, andererseits kompensiert durch mehr Raum für Mobilitätsalternativen für PKWs, Fahrräder und Lastenfahrräder. Umfassende Auflademöglichkeiten für die E-Mobilität werden eingeplant, ebenso Fahrradgaragen samt Werkstatt.



Abbildung 11: Ansicht vom Tempodrum und Anhalter Steg (Bildquelle: Mad arkitekter)

Berlins ehemalige Senatsbaudirektorin Regula Lüscher urteilt: «Das WoHo hat Vorbildcharakter für weitere Hochhausprojekte und entspricht vollumfänglich den Vorgaben des Hochhausleitbilds des Berliner Senats. Der Siegerentwurf von Mad arkitekter setzt die Nutzungsmischung aus Wohnen, Gewerbe und sozialer Infrastruktur sehr gut um und schafft im Sockelbereich eine lebendige Erdgeschosszone. Gleichzeitig integriert sich das Hochhaus in konstruktiver Holzbauweise in besonders gelungener Weise in die öffentlichen Räume der Nachbarschaft.»

Potentiale im Holzbau: Erfahrungen, Erkenntnisse und Forderungen an den Geschosswohnungsbau

Horst Glinka
B&O Bau Hamburg GmbH
Hamburg, Deutschland



Potentiale im Holzbau: Erfahrungen, Erkenntnisse und Forderungen an den Geschosswohnungsbau

1. Einleitung

Der Holzbau im Geschosswohnungsbau gewinnt zunehmend an Bedeutung in Deutschland. Die Holzbauquote im Eigenheimbau Deutschland – bezogen auf Genehmigungen im Wohnungsbau (Neubau) mit überwiegender Verwendung des Baustoffs Holz – betrug im Jahr 2020 ca. 20 %. Der Anteil an Mehrfamilienhäusern im Holzbau betrug hierbei in Deutschland allerdings nur 3,2 % (2). In Ländern wie Österreich, Skandinavien und den USA liegt die Quote wesentlich höher (1).

Dabei ist festzustellen, dass es in Deutschland ein deutliches Nord-Süd-Gefälle beim Holzbauanteil in der Quote genehmigter Wohngebäude gibt. So beträgt der Anteil im Jahr 2020 in Baden-Württemberg 33,4 %, in Niedersachsen 10,9 %, in Hamburg 7,5 % und in Berlin 12,3 % (3).

Gleichwohl hat sich der mehrgeschossige Holzbau in Deutschland in den letzten Jahren weiterentwickelt. 5- oder 6-geschossige Wohnbauten oder sogar Wohnhochhäuser sind keine Seltenheit. Viele Leuchtturmprojekte befinden sich in Planung oder im Bau. Holzbau etabliert sich vom Exoten zu einer gebräuchlichen Bauweise. Damit geht zugleich die systematische Entwicklung neuer Baustoffe und Bauweisen aus Holz einher.

Der Holzbau erfährt zunehmend Unterstützung durch die Politik. Regional entstehen geförderte Holzbau-Modellprojekte und -quartiere, die den aktuellen Stand des Holzbaus oft vorbildlich abbilden.

Gleichzeitig gewinnt Nachhaltigkeit – damit einhergehend Sustainable Finance – in der Immobilienwirtschaft an Bedeutung. ESG-Ratings (Environment Social Governance) und Nachhaltigkeitsstrategien entwickeln sich sukzessive zum Standard. Die Finanz- und Immobilienwirtschaft stellt sich hierauf allmählich ein – auch in Erwartung, dass Regierungen und Banken diesbezüglich in Zukunft für verbindliche Vorgaben sorgen werden.

Holzbau ist in aller Munde. Gleichwohl gibt es weiterhin Umstände, die die Entwicklung und den Bau von bezahlbarem Wohnraum in Holzbauweisen erschweren. Hierzu stellen wir im Folgenden drei Kernthesen auf.

2. These 1: Bauen ist komplex und wird immer komplexer

2.1. Aktuelle Situation

Ungefähr 3.500 Normen und Vorschriften, Gesetze, Vergabeverordnungen, Landesbauordnung und länderspezifische Förderrichtlinien lassen das Bauen zu einem Dschungel werden, in dem sich selbst geübte Abenteurer verlaufen.

Die bisher übliche Gewerke- und Fachplanertrennung verkompliziert Koordinations- und Abstimmungsprozesse auf den Baustellen. Zudem wird zur Lösung von Planungsfragen zunehmend die Einbindung zusätzlicher Fachplaner notwendig, um Auflagen von Bund und Ländern zu erfüllen. Schnittstellenverluste zwischen Planern und Auszuführenden sind dabei kaum zu vermeiden. Die Komplexität der Gewerketrennung mutet teilweise wie Raumschiffbau an.

Aufgrund schwierig zu bebauender Grundstücke und der damit verbundenen Komplexität erscheint es teilweise so, als ob das fertige Gebäude letztendlich als individuelles Einzelkunstwerk wahrgenommen wird.

Gleichzeitig wird der Bau haustechnischer Anlagen immer aufwendiger. Diese Anlagen weisen – verglichen mit dem Rohbau des Gebäudes – einen deutlich kürzeren Lebenszyklus auf und unterliegen einer regelmäßigen Instandhaltung bis hin zur Sanierung.

Steigende Qualitätsansprüche der Kunden und Mieter an Schallschutz, Wärmeschutz, und Brandschutz erhöhen zudem die Haftungsrisiken der am Bau Beteiligten.

2.2. Lösung: Einfach Bauen

Die Ansprüche der Bauherren an die Ausstattung und Ausführungsqualität steigen kontinuierlich. Mittlerweile ist die Erwartungshaltung an Ausstattung und Qualität bei kommerziellen Bauträgern und der gewerblichen Wohnungswirtschaft fast gleich. Der Wohnflächenbedarf pro Person steigt stetig. Ein «Downsizing» der Qualität, Ausstattung oder Größe wird selten in Erwägung gezogen – egal, ob schlussendlich 5,80 € Nettokaltmiete / Wohnfläche oder 5.800,00 € / m² für Eigentum gezahlt werden. Dabei liegt in einer «Verzichtsliste» (weniger ist mehr) ein wesentlicher Schlüssel zur Vereinfachung des Bauprozesses und zur Senkung der Baukosten.

Geht es um die Reduzierung des Energieverbrauchs beim Bauen, ist eine möglichst lange Nutzungsdauer unverzichtbar. Eine gut gebaute Außenmauer hält und eine solide gebaute Decke kann 100 Jahre und länger halten. Kein technisches Ausbaugewerk hält jedoch länger als 25 bis maximal 50 Jahre. Vermengt man die Gewerke, so ist nach einem Zeitraum von 30 bis 50 Jahren oft der gesamte Bau nicht mehr mit vernünftigem Aufwand zu sanieren oder modernisieren. Daraus folgt in erster Linie eine Trennung von Rohbau und technischen Gewerken. Dies vereinfacht zukünftige Modernisierungen und den Rückbau des Gebäudes.

Die Bildung partnerschaftlicher Bauteams unter Einbindung der beteiligten Planer und Ausführenden spätestens ab Leistungsphase 3 der HOAI führt zu einem holzbaugerechtem Planungs- Ausschreibungs- und Ausführungsprozess, bei dem die Entwicklung von neuen Organisations- und Prozessmodellen für den vorgefertigten Holzbau im Mittelpunkt steht und das Bausoll des Bauherrn zur größtmöglichen Zufriedenheit erreicht werden kann. Dabei hat sich die schlüsselfertige Erstellung von Bauvorhaben mit zentraler Koordination durch den Generalunternehmer in der Praxis von B&O bewährt.

Ein weiterer Lösungsansatz besteht in der Vereinheitlichung der Landesbauordnungen – insbesondere im Holzbau. In den Bauordnungen einiger Bundesländer werden Holzbaukonstruktionen teilweise bis zu einer Höhe von 22 m in massiven Holzkonstruktionen berücksichtigt. In vielen Bundesländern besteht hierzu jedoch Nachholbedarf, da Landesbauordnungen der technischen Entwicklung im Holzbau hinterherlaufen. Auch die Musterholzbaurichtlinie sollte den aktuellen Stand der Technik abbilden.

2.3. Best-Practice-Projekt: Forschungshäuser in Bad Aibling

Auf dem südlichen Teil des B&O Parkgeländes in Bad Aibling stehen drei identische Häuser mit Satteldach und einem niedrigen Anbau. Nur auf den ersten Blick sehen sie gleich aus. Auf den zweiten Blick erkennt man, dass die Häuser sich sehr wohl unterscheiden: in ihrer Materialität und ihrem Fassadenbild. Sie wurden in jeweils monomaterieller Bauweise aus Beton, Holz und Mauerwerk errichtet und dienen als Gegenentwurf zu den immer komplexer werdenden Bauweisen.

Dem Bau dieser drei Forschungshäuser war ein Forschungsprojekt an der TU München vorausgegangen. Die daran beteiligten Architekten und Ingenieure erarbeiteten die Grundlagen zu den Prinzipien des einfachen Bauens. Ihre Hypothese lautete, dass Wohngebäude mit einer hochwertigen und zugleich suffizienten Architektur, einer robusten Baukonstruktion und einer reduzierten Gebäudetechnik über einen Lebenszeitraum von hundert Jahren hinsichtlich Ökobilanz und Lebenszykluskosten der Standardbauweise überlegen sind. Beim Bau der drei Wohnhäuser auf dem B&O Gelände setzte Architekt Florian Nagler diese Strategien des einfachen Bauens konsequent um.

Die Bauweise der drei Wohnhäuser ist monomateriell – beim ersten aus Dämmbeton, beim zweiten aus Massivholz mit Lufteinschlüssen und beim dritten aus Hochlochziegeln. Die einschaligen Wandaufbauten erzielen eine ähnliche Dämmleistung wie hochkomplexe Wandaufbauten durch ein einfaches, althergebrachtes Prinzip: die Einkapselung von Luft.

Um die Umweltauswirkungen der Häuser – über hundert Jahre betrachtet – so gering wie möglich zu halten, wurde das Augenmerk auf die Langlebigkeit der verwendeten Materialien und damit auf einen geringen Ressourcenverbrauch gelegt. Auf Hilfsstoffe und materialfremde Sonderbauteile konnte weitestgehend verzichtet werden.

Die Haustechnik wurde ebenfalls so einfach wie möglich gehalten. Auch für den Bauherrn soll der Betrieb dieser Häuser mit möglichst wenig Aufwand verbunden sein. Weggelassen wurde alles nicht unbedingt Notwendige. Auf Fußbodenheizung, Klimaanlage und elektrische Klingeln an den Wohnungstüren wurde verzichtet. Übrig blieben Wasser-, Elektro- und Glasfaserleitungen, die alle in einem leicht zugänglichen Schacht zusammengefasst sind. Seit Bezug der Häuser werden die Verbräuche und der Raumkomfort in den drei Häusern in einem Monitoringverfahren gemessen und ausgewertet (4).



Abbildung 1: Außenansicht der Forschungshäuser; Fotograf: Sebastian Schels



Abbildung 2: Innenraum der Forschungshäuser; Fotograf: Sebastian Schels

3. These 2: Das Bauen und Betreiben von Wohngebäuden produziert einen steigenden Anteil der CO₂-Emissionen.

3.1. Aktuelle Situation

Der Gebäudebereich (zu dem auch Gewerbe, Handel und Dienstleistungen gehören) hatte im Jahr 2018 einen Anteil von 14 Prozent an den Gesamtemissionen in Deutschland. Der Anteil an Mehrfamilienhäusern beträgt hiervon ca. ein Viertel. Emissionen dieses Sektors stiegen von 2018 bis 2019 um vier Prozent. Rechnet man die sogenannten indirekten Emissionen (Versorgung mit Strom und Wärme durch Unternehmen der öffentlichen Versorgung) dem Sektor Gebäude hinzu, beträgt der Anteil sogar 30 %. Gegenüber dem Basisjahr 1990 ist es schon zu einer erheblichen Reduktion der Emissionen dieses Sektors gekommen. Weitere Reduktionen sind jedoch notwendig, um die Klimaschutzziele der Bundesregierung zu erreichen (5).

3.2. Lösung: Holz-Hybrid-Bau

Holz trägt zum klimaneutralen Bauen bei, da Holz ein nachwachsender Rohstoff ist und sowohl im Wald als auch als Baustoff CO₂ bindet. Holz ist der älteste Baustoff und seit vielen tausend Jahren bewährt. Haptik und Optik überzeugen.

Die Bauqualität wird beim Bauen mit Holz aufgrund eines höheren Vorfertigungsgrades deutlich erhöht, die Bauzeit verkürzt sich und die Arbeitsbedingungen beim Bauen werden – bedingt durch die Fertigung in temperierten Hallen – verbessert. Die Systematisierung des Holzbaus spielt dabei ebenfalls eine wesentliche Rolle.

Durch schlankere Bauteilaufbauten in Holz und durch Wohnungsgrundrisse mit einem günstigen Verhältnis von Wohnfläche zu Verkehrsfläche kann eine Flächeneffizienz von 80% erreicht werden.

Der Markt bietet eine große Auswahl an Materialien mit entsprechend vielen Konstruktionsmöglichkeiten. Jedes Holzbauunternehmen bevorzugt – je nach Produktionsmöglichkeiten, Zuliefernetzwerk und Erfahrungsschatz – eigene Aufbauten und Details. Dies erschwert eine firmenunabhängige Planung. Daher ist eine frühzeitige Einbindung von Planern und ausführenden Unternehmen zwingen notwendig.

Derzeit sind Holz-Hybrid-Konstruktionen (z.B. Treppenhäuser und Decken aus Stahlbeton und/oder EG-Bereiche in Ziegelbauweise) etwas günstiger als reine Holzkonstruktionen. Sobald Holz als Standardbaustoff etabliert ist und damit deutlich höhere Mengen verbaut werden, ist der Wohnungsbau mit Holz nicht teurer als der Bau mit Ziegel oder Beton. Unser Ziel ist eine Kostengleichheit von Massiv- und Holzbau. Dies wird erreicht durch Skaleneffekte, Rahmenvereinbarungen und ganzheitliche (nicht gewerkeweise) Vergabe.

3.3. Best-Practice-Projekt: Holz-Hybrid-Wohnungsbau in Celle

Für die Städtische Wohnungsbau GmbH Celle baut B&O 90 Wohnungen in 7 Baukörpern und zwei Bauabschnitten.

Die Außenwände sind hier als massive BSH-Wände konzipiert und werden inklusive der Fenster Just-In-Time auf die Baustelle geliefert. Als passendes Deckensystem dazu werden Spannbeton-Fertigdecken berücksichtigt. Sie werden wie Wandelemente industriell hergestellt und kommen ebenfalls fertig auf die Baustellen. So tragen sie selbst – anders als Ortbeton- oder «Filigran»-Decken – kaum Feuchtigkeit ins Gebäude und durch den schnellen Baufortschritt – ganze Geschosse entstehen an einem Tag – werden auch witterungsabhängige Feuchteinträge minimiert. Treppenhauswände sind als Stahlbeton-Halbfertigteile geplant und Wohnungstrennwände werden konventionell gemauert. Das Erdgeschoss wurde in Massivbau erreicht und Bäder als Fertigbäder konzipiert.

Kombiniert wird diese Bauweise mit einem innovativen Wärmeversorgungskonzept. Die Wohnungen werden mit einer zentralen Geothermie-Anlage thermisch beheizt. Die Wärmepumpen werden aus wirtschaftlichen und effizienten Gründen mit einem niedrigen Temperaturniveau betrieben und versorgen die Fußbodenheizung. Um Anzahl der Bohrungen und Kosten möglichst gering zu halten, wurde der Einsatz von Rückkühlern berücksichtigt. Sobald die Erdsonden an ihre Leistungsgrenzen kommen, wird über ein Umschaltventil im Hydraulikmodul ein Teilvolumenstrom der Rückkühler in das Sondenfeld geleitet, damit dieses sich schneller regeneriert und die Anzahl der Bohrungen reduziert werden kann. Jedes Haus bekommt eine Unterverteilung mit Pufferspeicher und Frischwasserstation zur Warmwasserbereitung. Um die hohen Temperaturen der Warmwasserbereitung zu gewährleisten, erfolgt eine Grundtemperierung durch die Geothermie. Die restliche Energie muss über eine PV-Anlage anhand elektrischer Heizstäbe, die in den Pufferspeichern installiert werden, erzeugt werden. Als Stromspeicheroption stehen Batteriespeicher oder eine E-Cloud zur Verfügung. Die Hydraulikmodule der Wärmezentrale wurden ebenfalls industriell vorgefertigt.



Abbildung 3: Vogelperspektive Celle; Visualisierung: Stadtbildplanung Urban & Architectural Design



Abbildung 4: Gartenansicht im Bau; Foto: B&O

4. These 3: Bauen wird immer teurer

4.1. Aktuelle Situation

Die aktuelle Baukostensituation ist hinlänglich bekannt und vielfach beschrieben. Kostensteigerungen ergeben sich unter anderem aus Anforderungen an Energieeffizienz, Barrierefreiheit, Standsicherheit, Brand- und Schallschutz, Schnee-, Sturm- und Erdbebensicherheit sowie aufgrund einer Vielzahl von kommunalen Auflagen. Auch der Grundstückskostenanteil bei Wohnungsneubauten ist in den letzten Jahren stark gestiegen, da einfach bebaubare Grundstücke knapp werden (6). Schwierig bebaubare Lagen sind deshalb schon länger in den Fokus von Immobilienentwicklern gerückt.

Zudem spielen bei der Baukostensteigerung ebenfalls die komplexe Gewerketrennung (mit den bereits beschriebenen Schnittstellenverlusten), aufwendige Vergabeverfahren, lange Genehmigungszeiten und komplizierte Bauteilzulassungen (insbesondere im Holzbau) eine nicht unwesentliche Rolle.

4.2. Lösung

Die Anzahl einfach bebaubarer Grundstücke nimmt stetig ab. Gleichwohl verfügt die Wohnungswirtschaft über Grundstücke, deren Potential bisher noch gar nicht erkannt wurde – wie zum Beispiel bestehende oberirdische Parkplätze. Diese Potential kann durch intelligente Entwurfs- und Konstruktionslösungen genutzt werden.

Vorfertigung und Systematisierung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Bauzeit und reduziert damit den Zeitraum, in dem eine Bauherr Finanzierungsmittel vorhalten muss. Ein hoher Grad an Vorfertigung ist im Holzbau nicht nur möglich – er ist erforderlich. Größere Holzbauunternehmen planen letztendlich schon seit mindestens 20 Jahren dreidimensional in entsprechenden CAD-Systemen und nutzen die Vorteile für ihre CNC-gesteuerte Fertigung. Durch die Anwendung einer durchgängigen BIM-Arbeitsmethodik, bei der der Generalunternehmer sich bereits in einer frühen Projektphase einbringt, können weitere Mehrwerte geschaffen werden. Vorfertigung kann auch bei Badzellen zum Einsatz kommen. Diese werden inklusive aller Haustechnik fertig auf die Baustelle geliefert und können mit deutlich reduziertem Aufwand an gewerblichem Fachpersonal installiert werden.

4.3. Best-Practice-Projekt: Dantebad 1 und 2 in München

Hundert neue Wohnungen errichtete B&O als Generalübernehmer im Bauteam für die städtische Wohnungsbaugesellschaft GEWOFAG im Jahr 2016 auf dem vorhandenen Parkplatz des Schwimmbades Dantebad im Zuge der Flüchtlingskrise. Dafür wurde zuerst ein Betontisch über den Parkplatz gebaut und darüber eine viergeschossige Holzkonstruktion errichtet. Unter dem Tisch kann weiterhin geparkt werden. Wenige Parkplätze mussten für die Erschließung des neuen Wohnbaus weichen. Dies konnte jedoch größtenteils durch eine intelligente Neuorganisation der Parkplatzflächen kompensiert werden. Von der ersten Ideenskizze bis zur Fertigstellung verging lediglich ein Jahr. Dies war nur möglich, weil der Entwurf von Architekt Florian Nagler auf den Prinzipien der Einfachheit und Wiederholung von vorgefertigten Elementen basierte und das Projekt große Unterstützung der Stadt erfuhr. Bis auf den Ortbetontisch wurden alle Bauteile vorgefertigt. Die Decken und die Innenwände sind aus Brettsperholz. Die Außenwände sind vorgefertigte Holzrahmenelemente. Die Nasszellen kamen ebenfalls als Fertigbäder auf die Baustelle. In der Fassadengestaltung spiegelt sich der serielle Charakter der Konstruktion wieder. Allen Bewohnern steht zudem eine Dachterrasse mit Sitzbänken und Hochbeeten zur Verfügung.

Derzeit entsteht in München ein zweiter Wohnbau über einem bestehenden Parkplatz als Folgeprojekt. Im Münchner Stadtteil Neuhausen-Nymphenburg errichtet B&O für die GEWOFAG eine vierseitige Bebauung mit eigenem Innenhof. 144 Wohnungen werden in dem ebenfalls auf Stelzen stehenden Wohnbau entstehen.



Abbildung 5: Außenansicht Dantebad 1; Fotograf: Stefan-Müller-Naumann



Abbildung 6: Parkplatz und Laubengang Dantebad 1; Fotograf: Stefan-Müller-Naumann



Abbildung 7: Vogelperspektive Dantebad 2; Visualisierung: Florian Nagler Architekten

5. Fazit

Das partnerschaftliche Bauteammodell ist nicht die Lösung für alle Probleme auf dem Bau. Aber es kann zu jeder der drei Thesen einen positiven Beitrag leisten. Holzbau im Neubau von Geschosswohnungen wird alleine nicht die Energiewende im Gebäudesektor herbeiführen. Dafür gibt es über den Geschosswohnungsbau im Neubau hinaus noch viele weitere Gebäudetypologien und Baualtersklassen. Den seriellen, vorgefertigten Holzbau auf Bestandswohngebäude zu übertragen, wie es das Energiesprung-Konzept der dena vorsieht (7), ist ein richtiger Ansatz zum Umgang mit Bestandswohngebäuden. Auch aktuelle Förderprogramme wie die Bundesförderung «Serielles Sanieren» des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle weisen in die richtige Richtung (8).

Wir freuen uns, dass Holzbau eine steigende Akzeptanz erfährt – und dies nicht nur, weil Holzbau unsere Mitarbeiter*Innen mit Arbeit versorgt, sondern weil wir damit vor allem einen positiven Beitrag zur Energiewende leisten können. Eine Hauptaufgabe ist, unsere Ansätze, Systeme und Konzepte stetig weiterzuentwickeln und zu verbessern.

6. Quellenangaben

- (1) Lagebericht, Holzbau Deutschland – Bund Deutscher Zimmermeister, 2021; Broschüre «Bauen mit Holz = aktiver Klimaschutz», Holzforschung München, Technische Universität München, 2010
- (2) Presseinformation, Holzbau Deutschland – Bund Deutscher Zimmermeister, 08.05.2019
- (3) Lagebericht, Holzbau Deutschland – Bund Deutscher Zimmermeister, 2021
- (4) Broschüre «Wie wir heute für die Welt von Morgen bauen», B&O Gruppe, 2020; www.einfach-bauen.net
- (5) Broschüre «Klimaschutz in Zahlen – Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik», Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Ausgabe 2020
- (6) Studie «Kostentreiber für den Wohnungsbau – Untersuchung/Betrachtung der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Gestehungskosten und aktuelle Kostenentwicklung von Wohnraum», Nr. 67, ARGE eV – Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen, 24.04.2015
- (7) <https://www.energiesprong.de>
- (8) https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Seriell_Sanieren/serielles_sanieren_node.html

Sponsoren und Aussteller

binderholz ■

b_solution

just plan it ■

JUST PLAN IT

Die erste, individuell planbare Systemlösung mit vorgefertigten Massivholzkomponenten für den mehrgeschossigen Wohnbau.

WIR LIEFERN DER WOHNUNGSWIRTSCHAFT, WAS SIE BRAUCHT.

WIR GEBEN DEM BAUHERRN, WAS ER SICH WÜNSCHT.

WIR VERÄNDERN DAS BAUEN, WIE SIE ES KANNTEN.

Hinter b_solution steht binderholz, eine Marke der Tiroler Unternehmerfamilie Binder.



office@b-solution.com | www.b-solution.com

**Weil wir es lieben, wenn
Ihr Plan funktioniert.**

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

DAS KLEBEBAND OHNE LINER - FÜR DIE SCHNELLE VERLEGUNG

Das AIRSTOP SOLO Klebeband ist leicht dehnbar und optimal zur luftdichten Verklebung. Der Spezialträger verfügt über eine hochwertige Acrylatklebebeschichtung.



○ HARMONISCHE HOLZOPTIK

WOHNGESUND
LÖSUNGSMITTELFREI
INNENRAUM-QUALITÄT
GETESTET

EINSATZBEREICHE

- Verklebung von Dampfbremsen und -sperrern
- Verklebung von OSB und MDF im Innen- und Außenbereich
- Übergänge und Anschlüsse an Holz, Mauerwerk und Metalle

VORTEILE

- PATENTIERTE SPEZIALFOLIE
Quer von Hand reißbar
Längs reißfest durch Fadengelege
- FEINTUNING SPEZIALFOLIE
Ruckfreies, geschmeidiges Abrollen
Einfachste Verarbeitung
- LINERFREI
Schneller zu verarbeiten
Spart Zeit und Entsorgungskosten
- PERFEKTE HAFTUNG UND VERARBEITUNG



○ KOMFORTABLE VERARBEITUNG



Leicht reißbar

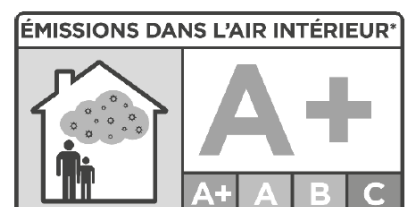


Linerfrei



Schnell zu verarbeiten

DIN 4108-11 inkl. Alterung
DIN 4108-7
ÖNORM B 8110-2
SIA 180





Dauerhafte
Schönheit



Hohe
Stabilität

JamesHardie® Fassadenlösungen

- + Dauerhafte Schönheit
- + Wirtschaftliche Konstruktionen
- + Einfach zu verarbeiten

fermacell® Gipsfaser-Platten

- + Hohe Stabilität
- + Herausragender Brand- und Schallschutz
- + Einlagig statt zweilagig

Wirtschaftliche Lösungen für den ein- und mehrgeschossigen Holzbau für Decke, Wand und Boden im Innenbereich sowie Fassaden im Außenbereich.

© 2021 James Hardie Europe GmbH.

™ und ® bezeichnen registrierte und eingetragene Marken der James Hardie Technology Limited und James Hardie Europe GmbH.

Beste Schutz vor Bauschäden und Schimmel

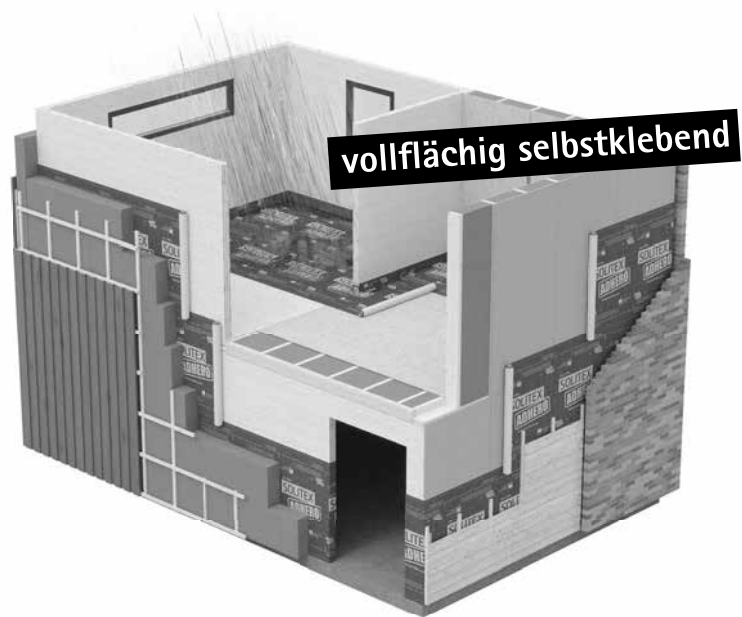
Luftdichtung und Witterungsschutz

SOLITEX® ADHERO

Hält Ihre Konstruktion trocken.

Diffusionsfähiges und maximal schlagregendichtes System.
Extrem alterungs- und hitzebeständig.

Haftet sofort auf tragfähigen Untergründen.



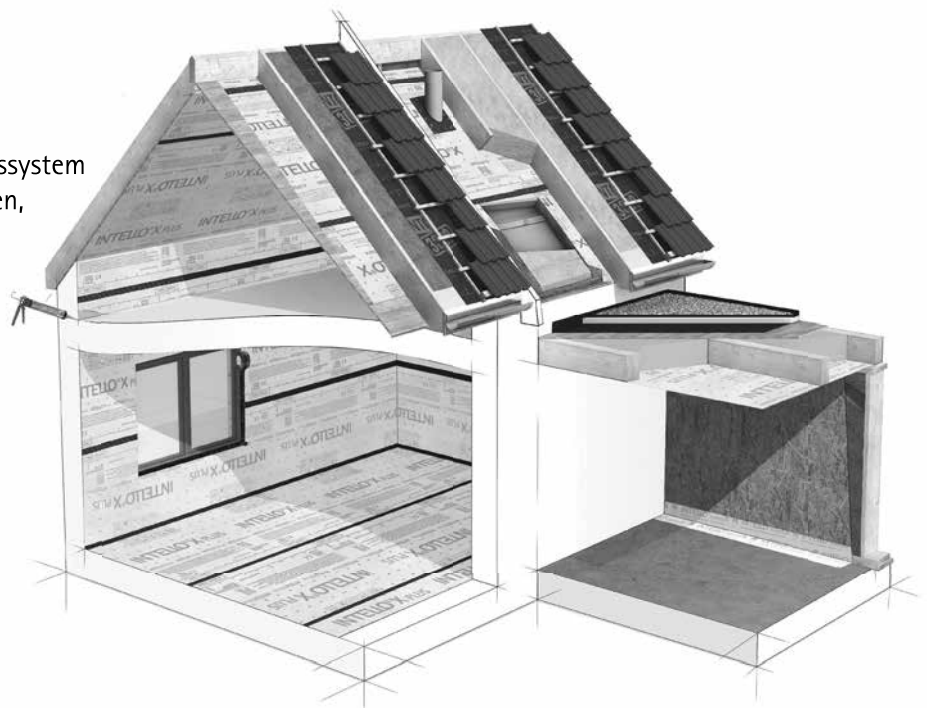
Intelligentes Luftdichtungssystem

INTELLO® X

Eine Bahn mit X Einsatzmöglichkeiten

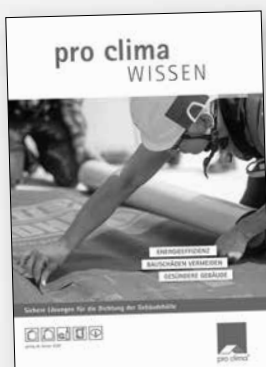
Allround Hydrosafe® Hochleistungs-Dampfbremssystem
für Aufsparren- und Zwischensparrendämmungen,
Dachsanierung von außen.

Feuchtevariabel, bewitterbar, UV beständig



pro clima – und die Dämmung ist perfekt

Das komplette Profi-System für die sichere Gebäudedichtung. Über 30 Jahre Erfahrung in Forschung und Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Service. Für besten Schutz gegen Bauschäden und Schimmel.



pro clima WISSEN

Planungshandbuch zeigt genau wie es geht
Über 400 Seiten Details, Konstruktionen, Bauphysik,
Systeme u. v. m.

Kostenfrei anfordern

0 62 02 - 27 82.0, info@proclima.de,
proclima.de/wissen

proclima.de



**HASSLACHER
NORICA TIMBER**

From **wood** to **wonders**.

Qualität & Innovation

KONTAKT:

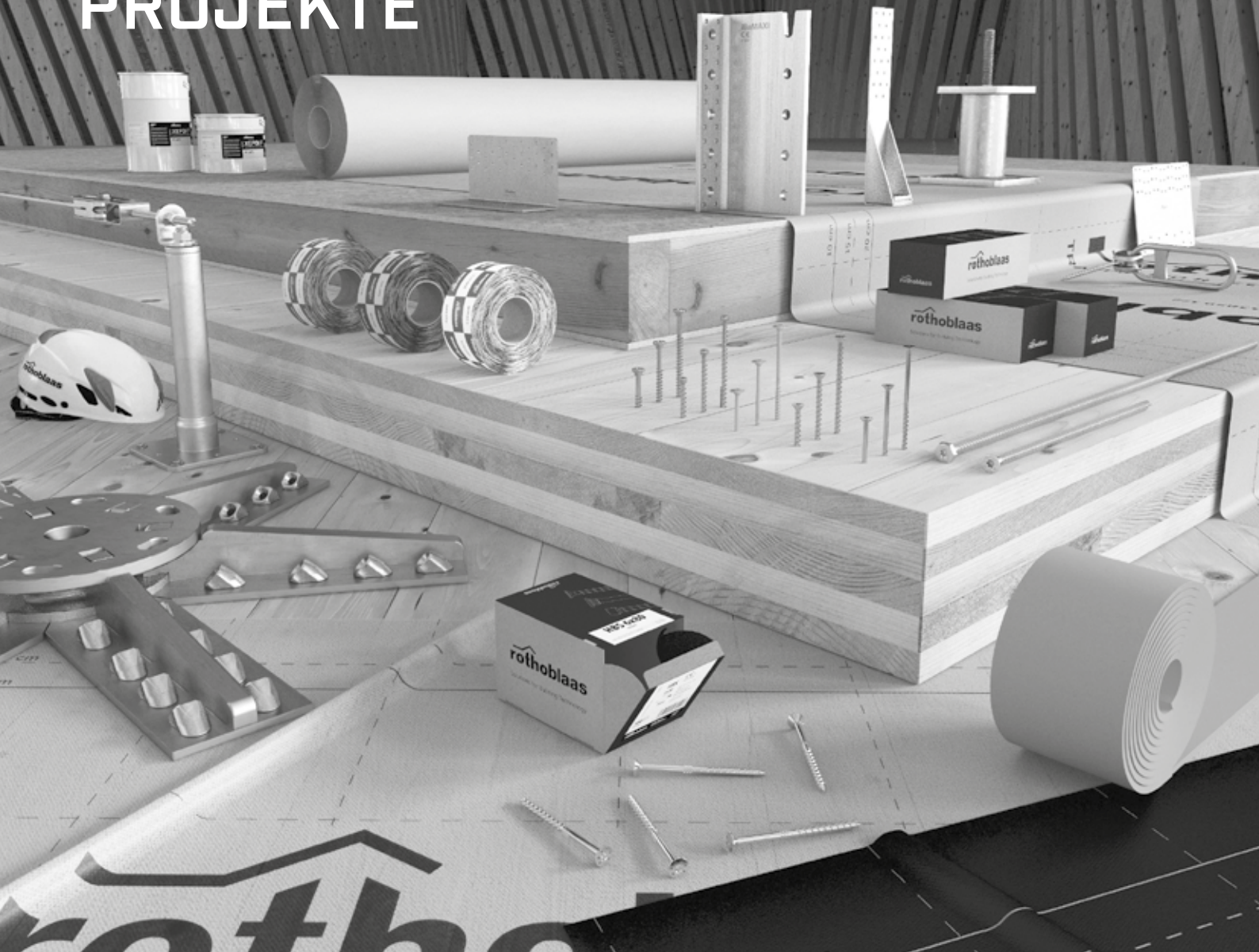
HASSLACHER NORICA TIMBER

T +43 4769 22 49-0

info@hasslacher.com

hasslacher.com

DIE RICHTIGE LÖSUNG FÜR IHRE PROJEKTE



- VERBINDUNGSTECHNIK
- LUFTDICHTHEIT UND BAUABDICHTUNG
- SCHALLDÄMMUNG
- ABSTURZSICHERUNG
- WERKZEUGE UND MASCHINEN

Rothblaas hat sich als multinationales Unternehmen der technologischen Innovation verpflichtet und avancierte innerhalb weniger Jahre zum weltweiten Bezugspunkt im Bereich Holzbau und Sicherheitssystemen. Dank unserem umfassenden Sortiment und einem engmaschigen und technisch kompetenten Vertriebsnetz sind wir in der Lage, unseren Kunden unser Know-how im Bereich Holzbau zur Verfügung zu stellen und Ihnen als starker Partner zur Seite zu stehen. All diese Aspekte tragen zu einer neuen Kultur des nachhaltigen Bauens bei, die auf die Steigerung des Wohnkomforts und die Verringerung der CO₂-Emissionen ausgelegt ist.

Für weitere Informationen:
www.rothblaas.de

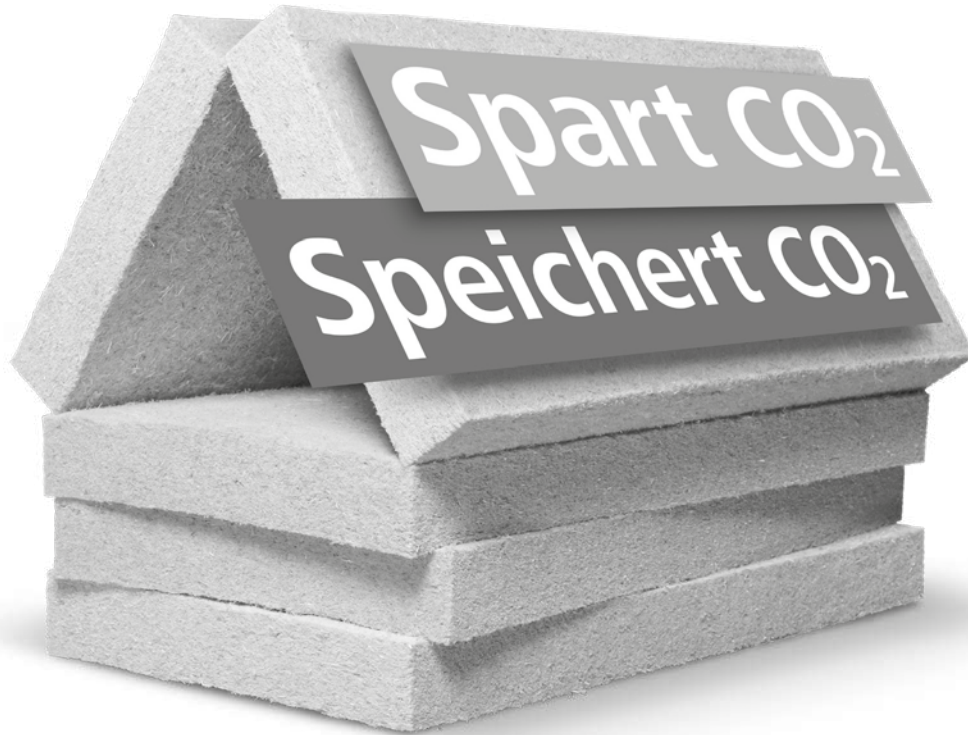


rothblaas

Solutions for Building Technology

STEICOflex

Die Klimadämmung



www.steico.com / flex

Natürlich dämmen mit Holzfaser

Gebäude werden zu großen Kohlenstoffspeichern

In Holzfasern sind große Mengen CO₂ gespeichert. Denn bei seinem Wachstum setzt ein Baum kein CO₂ frei, sondern bindet große Mengen CO₂. Wird sein Holz stofflich genutzt, so bleibt es gespeichert. 85 kg CO₂-Äquivalent pro m³ speichert die STEICOflex 036. Das macht sich in der CO₂-Bilanz eines Gebäudes stark bemerkbar.

Holz stammt aus nachhaltiger Forstwirtschaft

Nachhaltig bewirtschaftete Wälder ergänzen die CO₂-Speicherung von Holz zu einer hochwirksamen Klimaschutzstrategie: Junge Bäume ersetzen die geernteten und binden neues CO₂. Deshalb stammt das Holz zur Herstellung der STEICOflex 036 ausschließlich aus FSC- und PEFC-zertifizierter Forstwirtschaft.

Wärmespeicherung schützt vor Überhitzung

Aufgrund ihrer hohen Wärmespeicherefähigkeit schützt die STEICOflex 036 an sonnigen Sommertagen vor Überhitzung des Gebäudes. Denn die von außen in die Dämmschicht eindringende Hitze kann nur sehr langsam vordringen. Wenn es draußen Nacht und kühl wird, fließt die gespeicherte Hitze größtenteils wieder nach außen zurück und strahlt ab.

Schützt die Konstruktion

Die STEICOflex 036 ist zum einen diffusionsoffen und kann zum anderen viel Feuchte aufnehmen, zwischenspeichern und wieder abgeben, ohne dass sich ihre Dämmfähigkeit dabei groß ändert. Dadurch bleiben Dämmschicht und Konstruktion länger trocken – und das ist die beste Garantie gegen Feuchteschäden und für ein langes Gebäudeleben.

Gesundes Raumklima wird unterstützt

Die Diffusionsoffenheit und Feuchtespeicherfähigkeit der STEICOflex 036 gleicht Feuchtespitzen in der Raumluft aus und unterstützt ein angenehmes, gesundes Raumklima. Zudem ist die STEICOflex 036 aus frischem Nadelholz hergestellt und enthält keine bedenklichen Zusatzstoffe. Das Institut für Baubiologie Rosenheim (IBR) empfiehlt sie.

Jetzt Gratismuster bestellen



λ_D 0,036 Niedrigste Wärmeleitfähigkeit unter den Naturdämmstoffen

Gemeinsam stärker – mit Collano

Collano entwickelt clevere Systeme, neue Lösungen und Produkte für aussergewöhnliche Klebstoff-Verbindungen. Mit profunder Kenntnis verschiedenster Substrate und Hybridwerkstoffe sowie einem speziellen Fokus auf den modernen Holzbau eröffnet Collano dem Baugewerbe die ganze Breite an Klebeverbindungen.

www.collano.com



Collano AG
Neulandstrasse 3
CH-6203 Sempach Station
Switzerland
T +41 41 469 92 75
info@collano.com
www.collano.com



ERLUS^e

NEWS
2021

Ergoldsbacher **Level RS**[®]

Der neue Glattziegel für flach geneigte Dächer ab 10°!

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 läuft das Wasser perfekt auf dem Ziegel ab. 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!



www.erlus.com/news



#HolzKannDas

Natürlich. Nachwachsend.



Bild: Markus Gün

baustoffe.fnr.de

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V.

Wir fördern klimafreundliche Innovationen für die holzbasierte Wirtschaft im Auftrag des BMEL

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

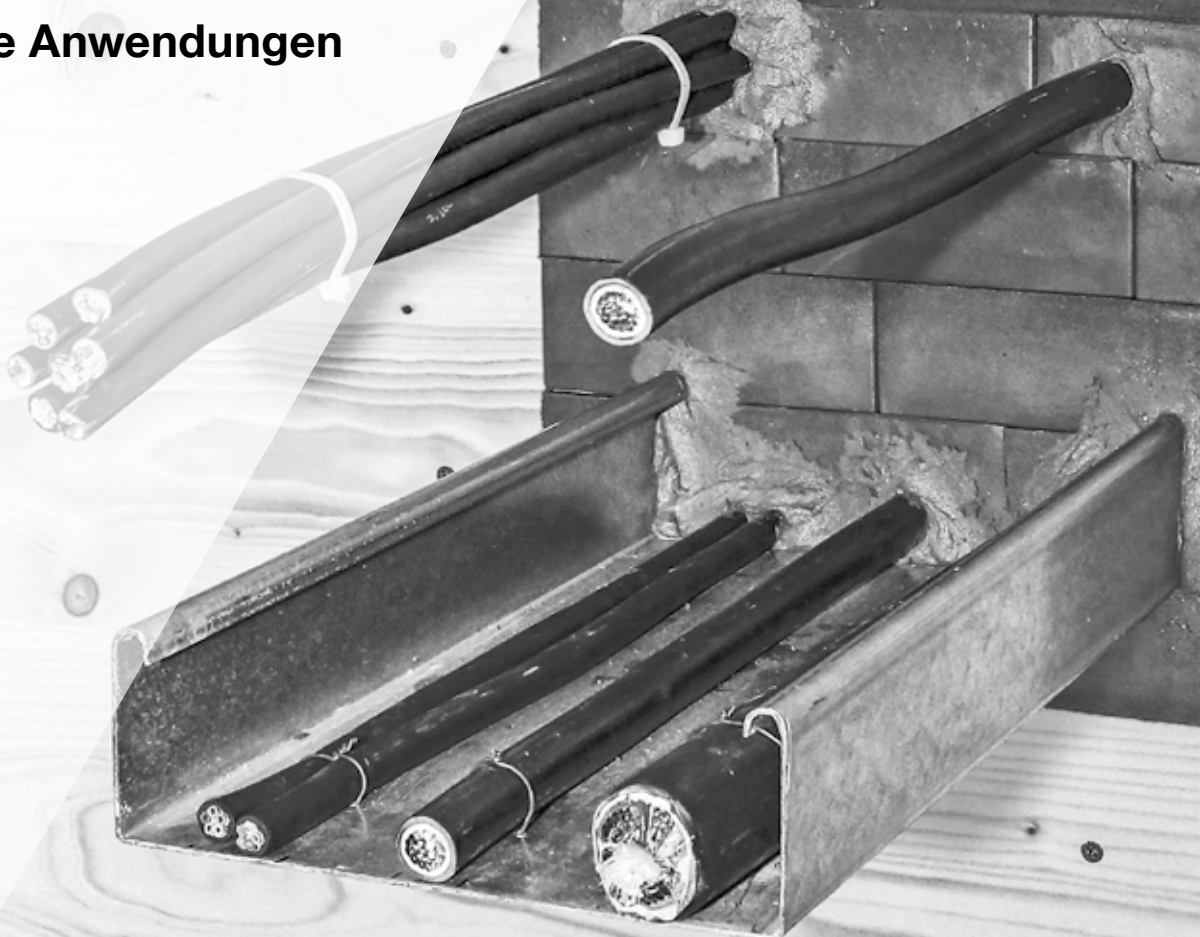


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



BRANDSCHUTZ IM HOLZBAU

Geprüfte Anwendungen
mit Hilti



FORUM
HOLZBAU
DEUTSCHLAND

24./25. August 2021

Erhöhte Produktivität in der Planung und Vorfertigung.

Hilti bringt seine 30 Jahre Brandschutzerfahrung in den Holzbau. Europaweit zugelassene Brandschutzprodukte für Holzanwendungen vereinfachen die Planungs- und Genehmigungsschritte in jedem Holzbauprojekt.

Ob mehrgeschossiger Wohnbau, Hotelbauten oder Bürogebäude, Hilti bietet Lösungen für die Abschottung der Gebäudetechnik. Die trockenen Brandschutzlösungen ermöglichen einen schnelleren Einbau auf der Baustelle. Kein Warten auf Mörtelaushärten. Kein Einbringen von Baufeuchte. Vorgefertigte Brandschutzlösungen unterstützen den Holzbauer bei der industriellen Vorfertigung und eröffnen Möglichkeiten zur Steigerung seiner Wertschöpfung.

Einfach CAD

hsbcad – CAD/CAM für den
Holzbau auf der Basis von
AutoCAD Architecture®
und Autodesk Revit®

hsbcad ist die intelligente 3D-CAD-Lösung für alle Bereiche des Holzbaus. hsbcad basiert auf AutoCAD Architecture® oder Autodesk Revit - den weltweit führenden CAD-Plattformen. Auf dieser Grundlage vereint **hsbcad** den **gesamten Planungsprozess** im Holzbau und HolzFertighausbau **in einer Lösung** und in einem dynamischen und durchgängigen Konzept: **BIM** (Building Information Modeling). BIM unterstützt Sie dabei, Ihr 3D-Modell intelligent, konsequent und produktiv zu nutzen. Digitalisieren Sie mit unserem Fertigungsleitstand **hsbmake** Ihren Produktionsprozess und teilen Sie mit **hsbshare** Ihre digitalen Modelle mit Ihren Projektbeteiligten. hsbcad bietet **Datenfluss** von der Architektur über den Verkauf bis hin zur Arbeitsvorbereitung und CNC-Fertigung – **eine Lösung für alles!**

1 Lösung für alle Bereiche

hsbcad bietet innerhalb einer
Oberfläche für alle Bereiche des
Holzbaus eine einheitliche Lösung



Wir sind wieder für SIE da

beim 2. Deutschen Holzbau Kongress
in Berlin

Besuchen Sie unseren Stand im Foyer.

Wir freuen uns auf ein Gespräch mit Ihnen!





KLH®

NEU
ERSCHIENEN -
TIMBER ARCH
VOL. 02

Unser Ansprechpartner für Deutschland:

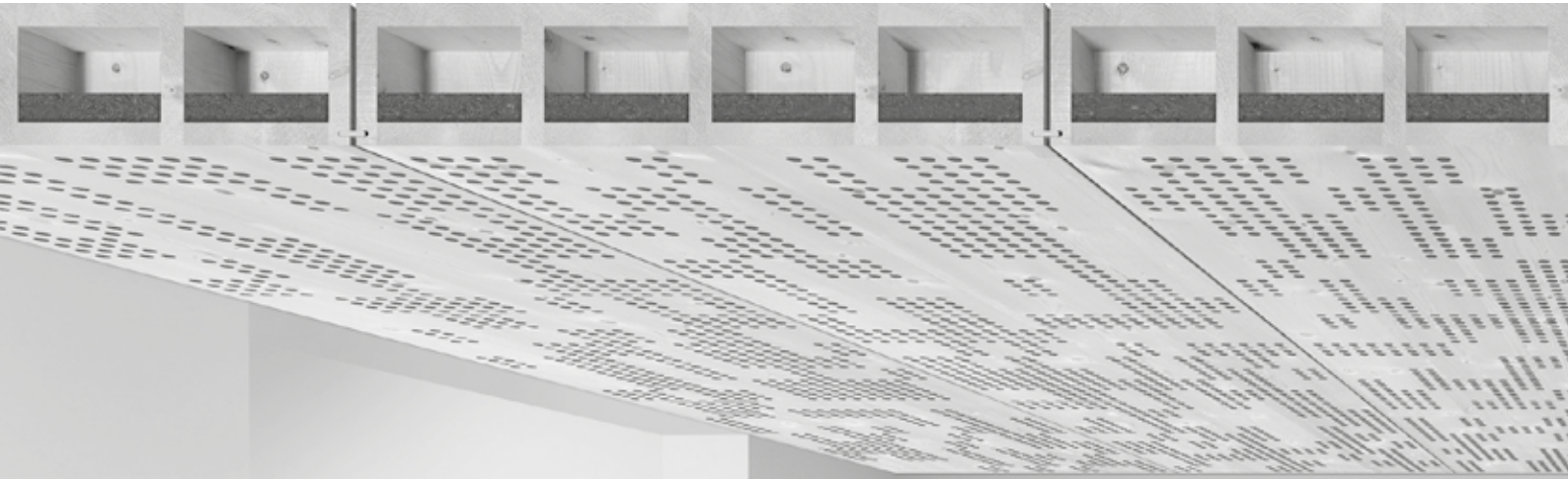
ABA HOLZ
van Kempen GmbH

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



Alles in einem Element:

- | | |
|--|--|
|  Statik - tragend |  Schallschutz |
|  Feuerwiderstand 90 min |  Raumakustik |
|  Ästhetik |  Wärmeschutz |
|  Ökologie |  Top-Beratung |

Interessiert?

Kontaktieren Sie unser
Beratungsteam:

+41 71 353 04 10
info@lignatur.ch



Erfahren Sie mehr unter:

www.lignatur.ch

VELUX®

VELUX Flachdach-Fenster von Grund auf neu



reddot winner 2021

Abb. Flachdach-Fenster FLACH-GLAS

Neue Generation



Flachdach-Fenster
FLACH-GLAS

- Klare Linien für eine harmonische Integration
- Für flach geneigte Dächer: 2° – 15°

Neue Generation



Flachdach-Fenster
KONVEX-GLAS

- Hochwertiges Design mit gebogener Verglasung
- Für flache Dächer: 0° – 15°

CurveTech

Die neue Generation VELUX Flachdach-Fenster überzeugt mit modernem Design und einer einzigartigen Konstruktion – wahlweise in 2-fach- oder 3-fach-Verglasung für individuelle Anforderungen. Dank sehr schlanker Rahmenprofile gelangt bis zu 52% mehr Tageslicht in den Raum. Vollständig rahmenlose Oberelemente sorgen für noch einfacheres Abfließen von Regenwasser und Schmutz. Bedienbar auf Knopfdruck und kombinierbar mit VELUX INTEGRA® Hitzeschutz-Markisen.

Entdecken Sie die neue Generation Flachdach-Fenster.

www.velux.de/flachdach



Maximaler
Tageslichteinfall



Passender
Hitzeschutz



Verbesserte
Energiebilanz



Leichte
Montage

INNOVATIVER HOLZBAU MIT SYSTEM

Nachhaltig hochwertig



Knauf bietet ganzheitliche, perfekt aufeinander abgestimmte Lösungen für den Holzbau, die höchste Anforderungen an Schall-, Brand- und Wärmeschutz in Boden, Wand, Decke und Dach erfüllen.

Auf unserem Ausstellungsstand beraten Sie unsere Experten umfassend zu neuen und bewährten Systemlösungen aus dem Hause Knauf. Dabei stehen folgende Themen im Fokus:

- › Außenwand-Systeme für den innovativen und auch mehrgeschossigen Holzbau
- › Holzbalkendecken mit außergewöhnlichem Schallschutz – auch im tieffrequenten Bereich
- › Wirtschaftliche und effiziente Dämmsysteme

www.knauf.de

www.knaufinsulation.de

KNAUF



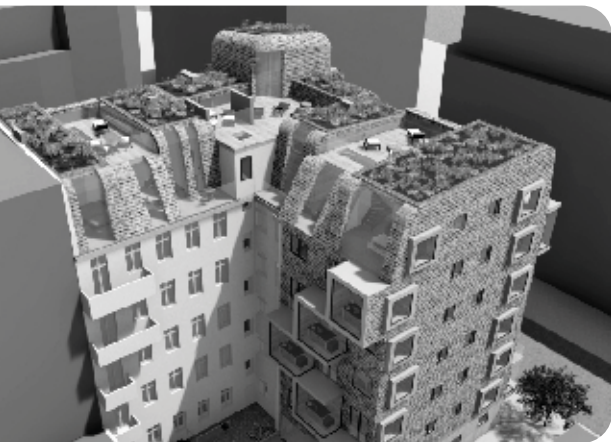
Holzhallen von FH Finnholz - Das Original

- Anfrage & Beratung
- CAD Planung
- Fertigung & Montage



Deutschlands absatzstärkster Kertoleithändler

- Beratung
- Statik
- Werkplanung & Arbeitsvorbereitung
- CNC-Bearbeitung
- Abbund
- Deutschlandweite Lieferung



Aufstockungen

- Berechnung der Resttragfähigkeit
- Umfassende Beratung nach fachlichen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten
- Brandschutz & Bauphysik
- Werkplanung & Arbeitsvorbereitung
- 3D Visualisierung
- Statik des Neubaus
- Montage des veredelten Rohbaus mit regionalen Partnerbetrieben



Niederlassungen

Lienen

Verwaltung & Produktion

Münster

Ingenieurbüro für Holzbau
Vertrieb

Berlin

Ingenieurbüro für Holzbau
Vertrieb



Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme

Die neue Dimension beim Wohn- und Objektbau

wohngesund, wirtschaftlich und innovativ



ZimmerMeisterHaus

So geht Holzbau



Maximale Qualität und Vertrauen durch die Manufakturen der
ZimmerMeisterHaus-Gruppe, Deutschlands Nr. 1 beim individuellen Holzhausbau

📍 Olof-Palme-Ring 25, 14822 Borkwalde 📞 033845-40945 ✉ info@arche-naturhaus.de

www.arche-naturhaus.de

DämmRaum

Effektive Lösungen für Dach, Fassade und Boden.

DämmRaum clever schaffen.



Schneller. Einfacher. Nachhaltiger.

Mit den DämmRaum-Elementen schaffen Sie im Handumdrehen eine perfekte Unterkonstruktion für Ihre Dämmung. Nachhaltige Lösungen für Dach, Fassade und Boden.

B+M HolzWelt GmbH
77767 Appenweier
T +49(0)7805 9685-0
www.bm-holzwelt.de
www.daemmraum.de

Holzbau

Geschoss-
wohnungsbau
Objektbau

—
XXL-Fenster
Schiebetüren

WIR
realisieren
IHRE Projekte.
Sprechen Sie
uns an.

BECKER 360
Holzbau Becker & Sohn GmbH
Kolpingstraße 4
59964 Medebach
T +49 2982 9214 0
info@becker360.de
www.becker360.de

BECKER
360

Erfahrung, die Werte schafft.
Seit 1926.



Flexibel. Nachhaltig.
Hochwertig.

Modulbau in Holzbauweise.



**Blumer
Lehmann**
Holzbau | Engineering

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 Verschlusssystem verspannt die einzelnen DX-Deckenplatten miteinander.

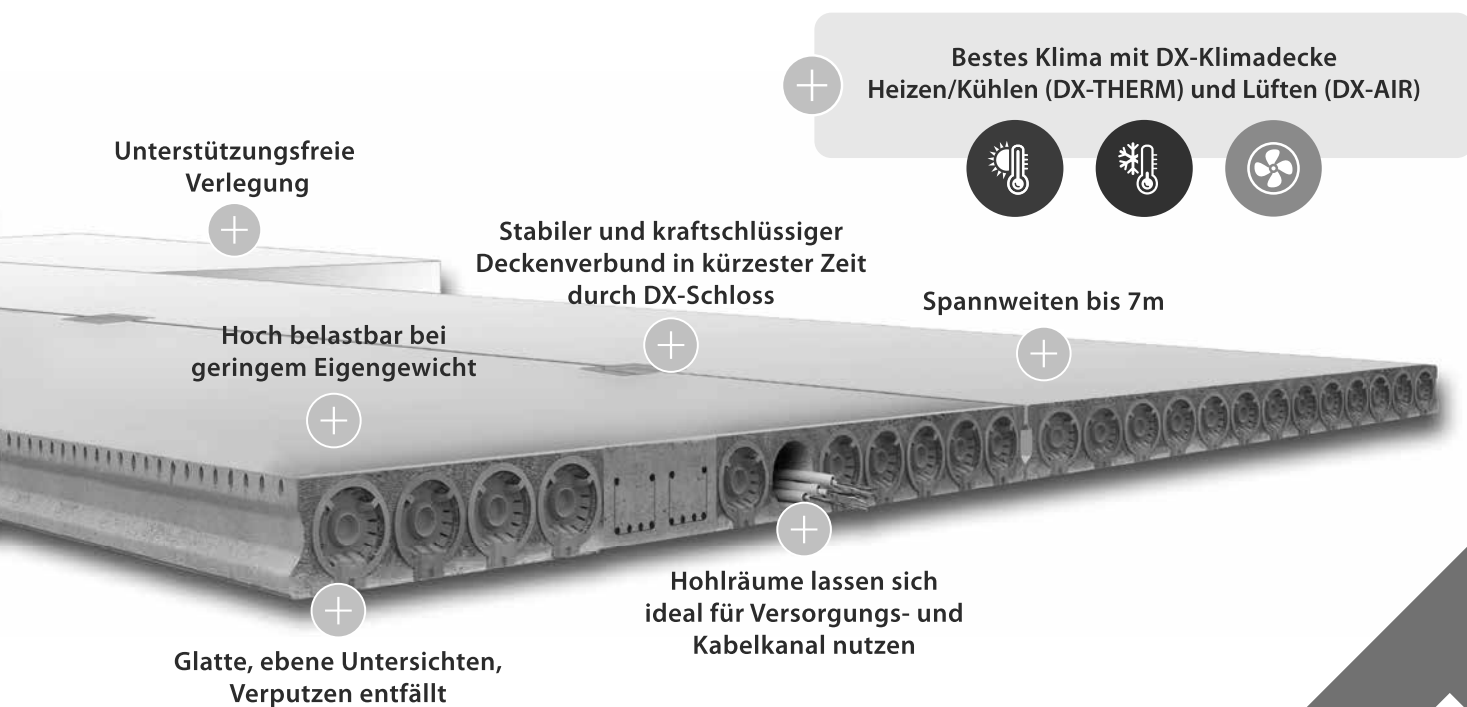
So entsteht in kürzester Zeit ein extrem stabiler und kraftschlüssiger Deckenverbund. Die Decke ist sofort belastbar und begebar. Zudem erfüllt die innovative DX-Decke alle Anforderungen an Feuerschutz, Belastbarkeit und Luft- und Trittschalldämmung mit Bestwerten.

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).



Immer eine **STARKE VERBINDUNG**

SYSTEMINNENECKE CLT

Eines unserer neuen Produkte ist die Systeminnenecke CLT. In Kombination angewendet ermöglicht sie eine starke Verbindung von Wandknotenpunkten. Zudem ist die Systeminnenecke eine unschlagbare Lösung für Holz - Holz Verbindungen.



Anwendungsbeispiel der Systeminnenecke CLT mit der KonstruX

KONSTRUX VOLLGEWINDESCHRAUBEN

KonstruX Vollgewindeschrauben maximieren die Tragfähigkeit einer Verbindung durch den hohen Gewindeauszieh Widerstand in beiden Bauteilen. Zeit- und kostensparende Alternative gegenüber traditionellen Anschlüssen oder Holzverbindern wie Balkenschuhen, Balkenträgern usw.



KonstruX, Senkkopf verzinkt

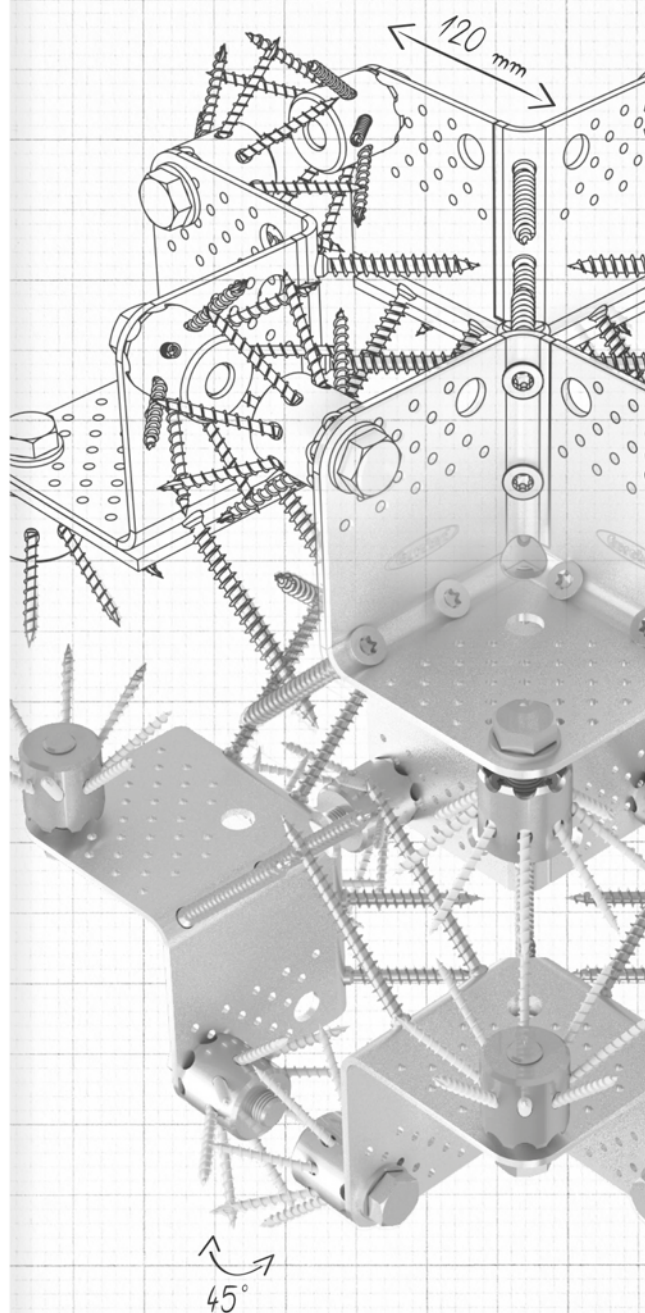
HEBEANKER HEBE**FIX** & KUGELTRAGBOLZEN

Für die Anwendung mit einem Kugeltragbolzen wurde Hebe**Fix** konzipiert. Vorgefertigte Wandelemente können problemlos mit dem Hebeanker angehoben und transportiert werden. Die Verwendung mit Schrauben erlaubt es, den Hebeanker mehrfach einzusetzen.

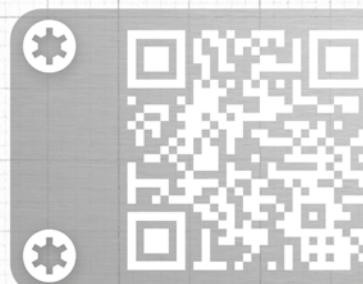


Anwendungsbeispiel für den Hebe**Fix** in Kombination mit dem Kugeltragbolzen

Eurotec[®]



► Erfahren Sie mehr über unseren Ingenieurholzbau!





Schön, wenn auch Gewerbeimmobilien ans Klima denken

Sie planen eine Gewerbeimmobilie, die 1,5 Grad kompatibel ist? Der Werkstoff Holz bietet dabei viele Vorteile. Unsere Expertinnen und Experten beraten Sie gerne zu Finanzierung und Holzbauweise.

Treffen Sie uns auf dem FORUM HOLZBAU.

GUTEX PYRORESIST

für den mehrgeschossigen Wohnungsbau
und die urbane Nachverdichtung



Ökologische Dämmstoffe aus Holz.

Holzfaserdämmplatten sind leistungsstarke Dämmstoffe mit vielen positiven Eigenschaften, für die aber bisher galt: Sie glimmen und schwelen. Ganz anders die Innovation GUTEX Pyroresist: Unsere neu entwickelte Produktlinie ist nach DIN EN 13501-1 nicht nur schwerentflammbar (Baustoffklasse C), sondern auch nicht glimmend nach DIN EN 16733. Somit vergrößert GUTEX die Einsatzmöglichkeiten von Holzfaserdämmplatten in Bauteilkonstruktionen enorm!

Erfahren Sie mehr unter www.pyroresist.de

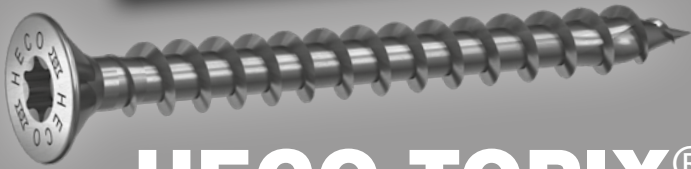
GUTEX Holzfaserplattenwerk

Gutenburg 5 | D-79761 Waldshut-Tiengen | Telefon: + 49 7741 6099-0 | info@gutex.de

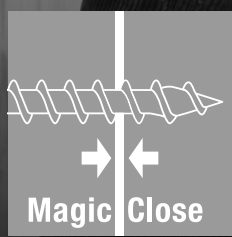
 **GUTEX**[®]
DÄMPLATTEN AUS SCHWARZWALDHOLZ



NEU



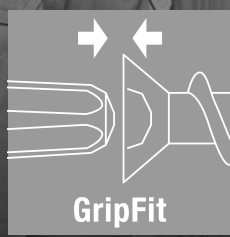
HECO-TOPIX®-plus: Macht die Besten besser.



Zusammenzieh-Effekt
ganz ohne Vorspannen.



Optimierte Gewindesteigung
für jede Schraubenlänge.



Einhändig arbeiten geht
jetzt auch mit Edelstahl.



SinnInvest investiert selektiv in alle Nutzungsarten des nachhaltigen Holzbaus.

Mit unserer Investmentplattform verbinden wir die Interessen unserer Investoren mit einer innovativen und nachhaltigen Holzbau- und Heizungstechnik im gewerblichen Immobilienbereich.

Unser Ankaufprofil

Standorte:	Deutschland, Städte bzw. Regionen mit positiver Prognose
Nutzungsarten:	Wohnen, Servicewohnen, Büro, Verwaltung, Nahversorger (systemrelevant), Schulen, Kindergärten u.ä.
Investmentart:	Core, Core Plus
Struktur:	Schlüsselfertig und vermietet, Forward Deal, Forward Purchase
Objektvolumen:	ca. 10 bis 50 Mio. Euro

www.sinn-invest.de

E-Mail: jbrandhuber@sinn-invest.de

LIGNOPRO®

Holzbeschichtungen für die industrielle Anwendung

LIGNOPRO® 851

CLT-Varnish UV

Hydrophobe Oberfläche

Optimaler UV-Schutz

Hochwertige Optik

...in einem Arbeitsgang!

Kontakt:

Adam Maciejewski
Verkaufsleiter | Sales Manager

+49 171 23 72 832
a.maciejewski@kochundschulte.de

www.kochundschulte.de

KOCH & SCHULTE 
Holzschutzmittel | Holzveredelungsprodukte

LIGNO® BSP-x

Materialeffizient, voll konfigurierbar –
Decken- und Dachbauteile bis Gebäudeklasse 5.

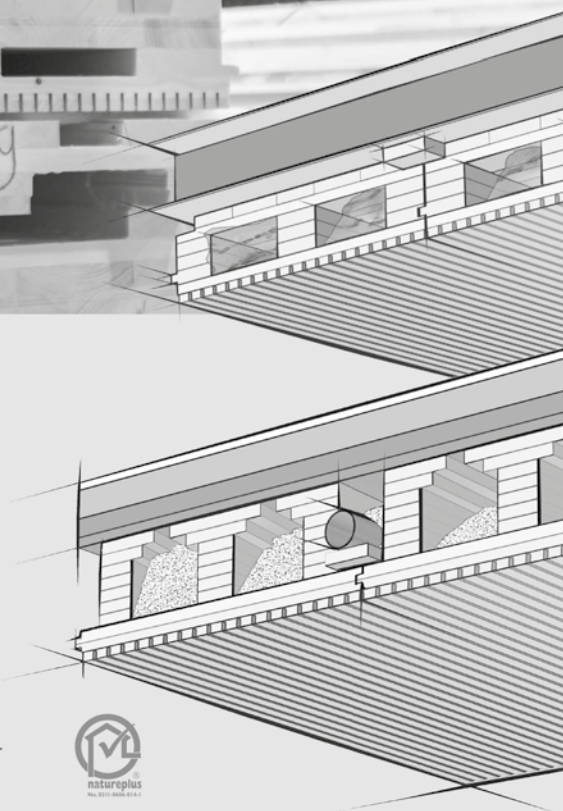


Einbaufertig abgebunden:
Geschossdecke LIGNO Rippe-x
in Feuerwiderstandsklasse REI 60
mit Akustik-UNTersicht



Die neueste Generation der Brettsperrholz-Rippen-/
Kastenelemente von Lignotrend ist auch für Decken
von Mehrgeschossern konfigurierbar:

- für ausserordentlichen **Schallschutz**, auch gegen Gehgeräusche
- für Feuerwiderstand **bis REI 90**
- **baubiologisch einwandfrei** aus heimischem Holz
- mit **sichtbaren Holzoberflächen**: astfrei, z.B. in Weisstanne,
auf Wunsch mit Akustikprofil.
- mit neuer Querlage im Untergurt für **maximierte Formstabilität** –
bei Akustikprofilen ist das Fugenbild homogen wie nie zuvor.



LIGNO ■ TREND®

Für eine nachhaltige Holz-Baukultur

Landstrasse 25 | 79809 Weilheim | Deutschland
Tel.: 07755 9200-0 | Fax: 9200-55
E-Mail: info@lignotrend.com

NEU: Konfigurieren Sie das Element
für Ihr Projekt komfortabel online:
www.lignotrend.com/bsp-x





MAX HOLZBAU

Natürlich an Morgen gedacht.

MAX Holzbau plant und errichtet mit eigener Fertigung individuelle Wohn- und Gewerbeobjekte aus Holz.

Lust auf mehr?

www.max-holzbau.com



XC® – DAS HOLZ-BETON- VERBUNDELEMENT DER MMK

Die wesentlichen Einsparungen im Bauwesen sind heute nur mehr über die Bauzeit und die Reduktion von Schnittstellen in Planung und Ausführung einzubringen. Montagefertige Bauteile für jedes Holz-Hybrid-Projekt werden in den Werken von Mayr-Melnhof Holz und MMK nach Kundenwünschen hergestellt. Durch präzise Vorfertigung wird Koordinationsaufwand auf der Baustelle minimiert, das bringt Kostenersparnisse durch kürzere Montagezeiten und den Bedarf an weniger Arbeitskräften vor Ort. Zudem fällt die Lärm- und Staubbelastung am Bau wesentlich geringer aus.

Für hybride Projekte in Zusammenhang mit XC® Holz-Beton-Verbundelement bietet die MMK neben standardisierten Hybridelementen Entscheidungsträgern, Planern und Bauherren auch ein Projektconsulting an.



WESENTLICHE PRODUKTVORTEILE VON XC®:

- Vordefinierte Standards für den Planer
- Große Spannweiten für einfaches Grundrisslayout
- Standardisierte Ausschreibungsunterlagen
- Natürliche Holzoptik bleibt durch geprüfte Schallschutzaufbauten erhalten
- Hervorragende bauphysikalische Eigenschaften

LEISTUNGSSPEKTRUM DER MMK HYBRID SOLUTIONS:

- Unterstützung bei der Entwurfsplanung (Variantenstudie)
- Beratung hinsichtlich Einsatz-Optimierung bei Materialauswahl (Bauphysik, Ökologie, Kosten)
- Kalkulation, begleitende Kostenoptimierung
- Unterstützung bei 3D-Planung, und Visualisierung
- Statische Vorbemessung einschließlich Brandschutz- und Schwingungsnachweis (Kosten und Machbarkeit)
- Unterstützung bei Einreich-, Ausführungs- und Detailplanung
- Optimierung der Bauzeit- und Bauablaufplanung
- Je nach Kundenwunsch Abstimmung mit den einzelnen Gewerken
- Unterstützung bei Gebäudezertifizierung (Lebenszyklus)



Holz und Beton verbinden.

MMK
Hybrid
Solutions

www.holzbetonverbund.eu



WHERE
IDEAS
CAN
GROW.

M  **M**
MAYR MELNHOF HOLZ

www.mm-holz.com

Unsere Lösungen für
Ihre Herausforderungen!

MM crosslam
Brettsper Holz (BSP)

MM masterline
Brettschichtholz (BSH)

Montagefertig!

XC
LAM CONCRETE®

Holz-Beton-Verbundelement
by **MMK**

MMHBE
Holzmassivbauelement

ÖKOLOGISCHER BRANDSCHUTZ VON HOLZ

Wählen Sie eine nachhaltige
Brandschutzlösung für den modernen Holzbau.



NT[®]
NORD
TREAT

www.nordtreat.com

info@nordtreat.com

+358 20 730 9330

Großzügige Architektur im mehr- geschossigen Holzbau

**Integrierter
Brandschutz**

—
Flexible Spannweiten

—
**Schlanke
Decken**

**SLIM-FLOOR
HBV-DECKEN
MIT DELTABEAM[®]**

Das Holzverbinder Programm mit dem Extra an Genauigkeit und Qualität



Innovative Holzverbindingssysteme für höchste Ansprüche.
Pfostenträger | Verbinder | Balkonsäulen | Zaunsäulen | Werkzeuge | Schallschutz

Pitzl Metallbau GmbH & Co. KG
Siemensstraße 26, 84051 Altheim
Telefon: +49 8703 93460
www.pitzl-connectors.com

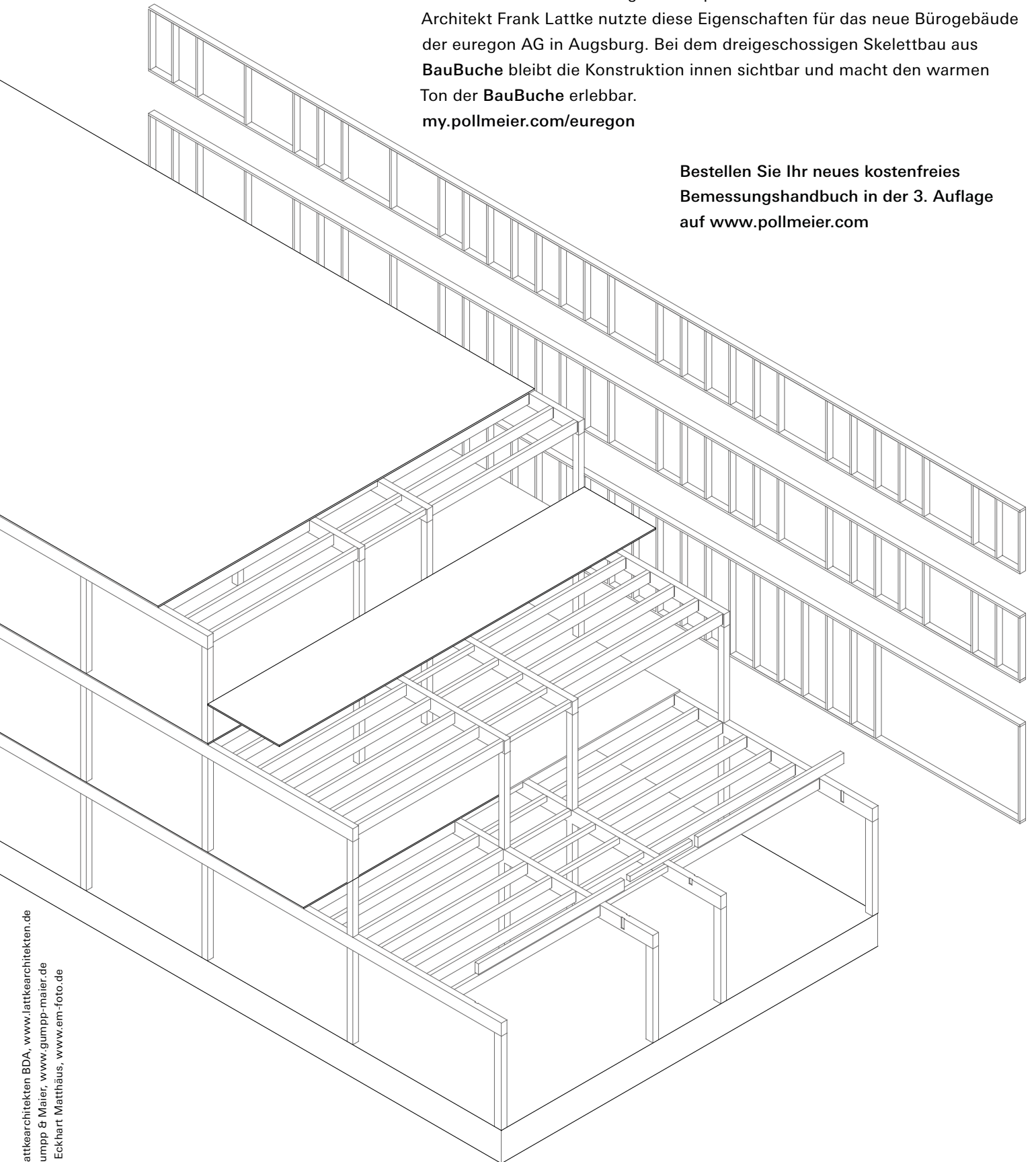


BauBuche spart Raumhöhe

Ein schlanker Skelettbau für das euregon AG Bürogebäude

BauBuche besitzt eine außergewöhnlich hohe Tragfähigkeit und ermöglicht schlankere Bauteile sowie größere Spannweiten im konstruktiven Holzbau. Architekt Frank Lattke nutzte diese Eigenschaften für das neue Bürogebäude der euregon AG in Augsburg. Bei dem dreigeschossigen Skelettbau aus **BauBuche** bleibt die Konstruktion innen sichtbar und macht den warmen Ton der **BauBuche** erlebbar.
my.pollmeier.com/euregon

Bestellen Sie Ihr neues kostenfreies
Bemessungshandbuch in der 3. Auflage
auf www.pollmeier.com





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

smartex®

MONITORINGSYSTEME

Feuchteschäden intelligent verhindern...

für Flachdächer, Gründächer, Solardächer,
Balkone, Parkdecks, Tiefgaragen,
Nassräume, Küchen, Doppelböden,
Holzkonstruktionen,
Leitungstrassen...



LECKAGEN UND NÄSSE IN ECHTZEIT DETEKTIEREN

smartex® Monitoringsysteme überwachen Ihr Gebäude in Echtzeit auf Leckagen und Nässe, auch dort, wo Sie nicht hinschauen können. Rund um die Uhr, Tag für Tag. So werden Schäden frühzeitig erkannt, bevor Langzeitschäden entstehen können.

**PROGEO MONITORING
SYSTEME UND SERVICES
GMBH & CO. KG**



SCHÄDEN AUTOMATISCH LOKALISIEREN

Kommt es zu einem Schaden, erhalten Sie mit smartex® nicht nur einen Alarm, sondern auch eine Information, wo der Schaden aufgetreten ist. So bleiben viele Schäden eine kleine Bagetelle, denn Sie müssen nicht lange suchen, um sie zu finden.

**HAUPTSTRASSE 2
DE-14979 GROSSBEEREN
PHONE: +49-33701-22-0**



REPARATUREN GEZIELT AUSFÜHREN

Gerade bei Feuchteschäden gilt: Je früher man repariert, desto geringer sind die Folgeschäden. Mit smartex® können Sie schnell reparieren, das spart Ärger und Kosten. Und was nicht kaputt geht, muss nicht repariert werden. Das ist auch noch nachhaltig.

PROGEO.COM

DIE ZUKUNFT DES WOHNBAUS IST SERIELL, MODULAR UND IN HOLZ.



- » Kosten- und **Zeitersparnis**
- » Maximale **Kostensicherheit**
- » **Herausragende Qualität**
durch serielle Vorfertigung
- » **Bauzeitverkürzung** um bis zu 75%
- » **Klimapositiv** durch CO2 Bindung
- » **Ressourcenschonend** und **nachhaltig**
- » Positives **Raumklima** durch
den Baustoff **Holz**

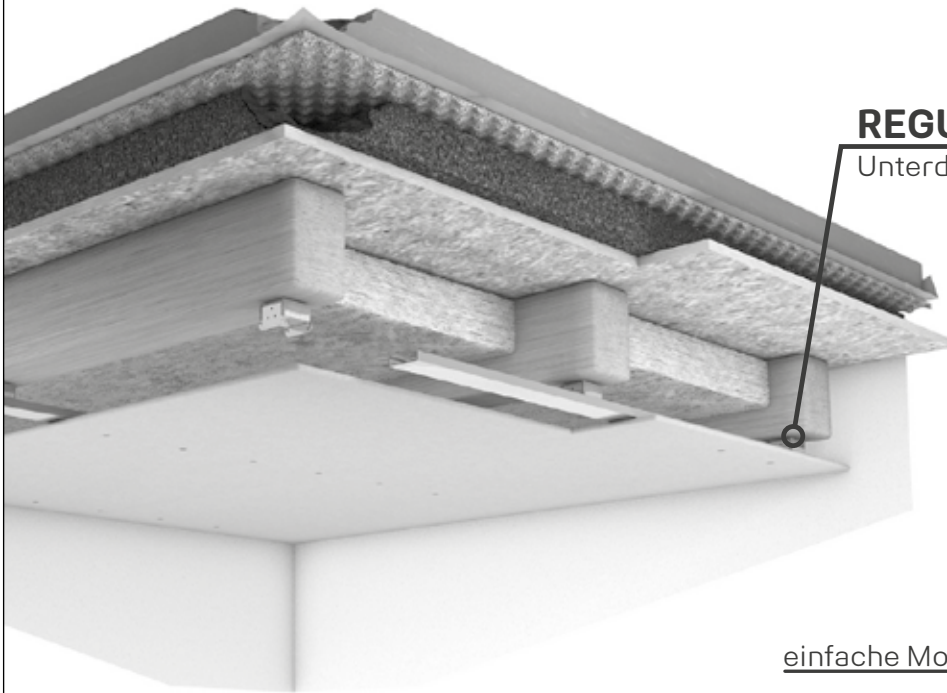


Code scannen
und **purelivin**

ERLEBEN



KLEINES BAUTEIL GROSSE WIRKUNG



REGUFOAM hangers

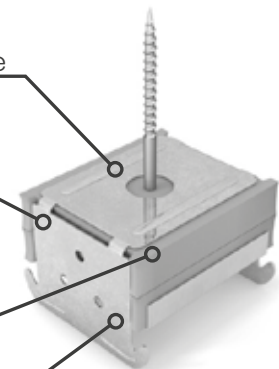
Unterdeckenabhängung

einfache Montage

sicher und tragfähig

verschiedene Belastungsklassen

tieffrequent abstimmbar



MEHRGESCHOSSIGER HOLZ- UND HYBRIDBAU IM URBANEN RAUM

Seit geraumer Zeit realisiert Rubner Holzbau Projekte im urbanen Raum und bietet Lösungen in den Bereichen Hybridbau und mehrgeschossigem Holzbau. Jahrzehntelange Erfahrung erlaubt es Architekten, immer größer und höher zu bauen. Wie aktuell bei „Roots“ in der Hamburger HafenCity, mit 65 m Höhe und 20 Geschossen (davon 16 in Holzbauweise) Deutschlands höchstes Holzhaus. Die werksseitige Vorfertigung, skalierbare Produktionskapazitäten, die just-in-time-Lieferung aller Bauelemente und – wenn gewünscht – unsere Beratung bereits in der Planungsphase verkürzen die Rohbauzeit und sind die Grundlage für eine kosten- und termintreue Umsetzung – im Neubau, bei energetischen Sanierungen, Fassadengestaltungen, Aufstockungen und bei der urbanen Nachverdichtung.



Mehrgeschossiger Holzbau, Walden 48, Berlin (DE)



Deutschlands höchstes Holzhaus „Roots“, Hamburg (DE). 65 m, 20 Etagen, 16 in Holzbauweise.



Wohnanlage Variowohnen, Bochum (DE)



Schulzentrum mit Sporthalle, Gloggnitz (AT)

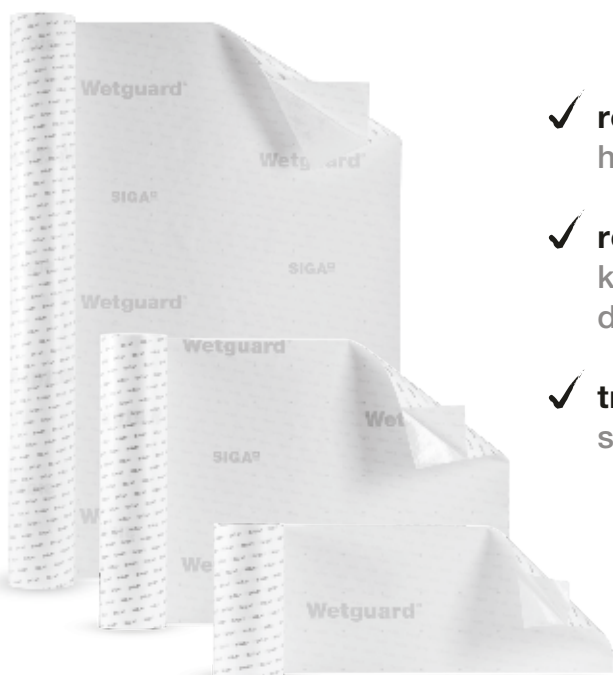
Wetguard® 200 SA

Vollflächig selbstklebende Feuchteschutz-Membrane für Holzelemente

SIGA¹⁹⁶⁶

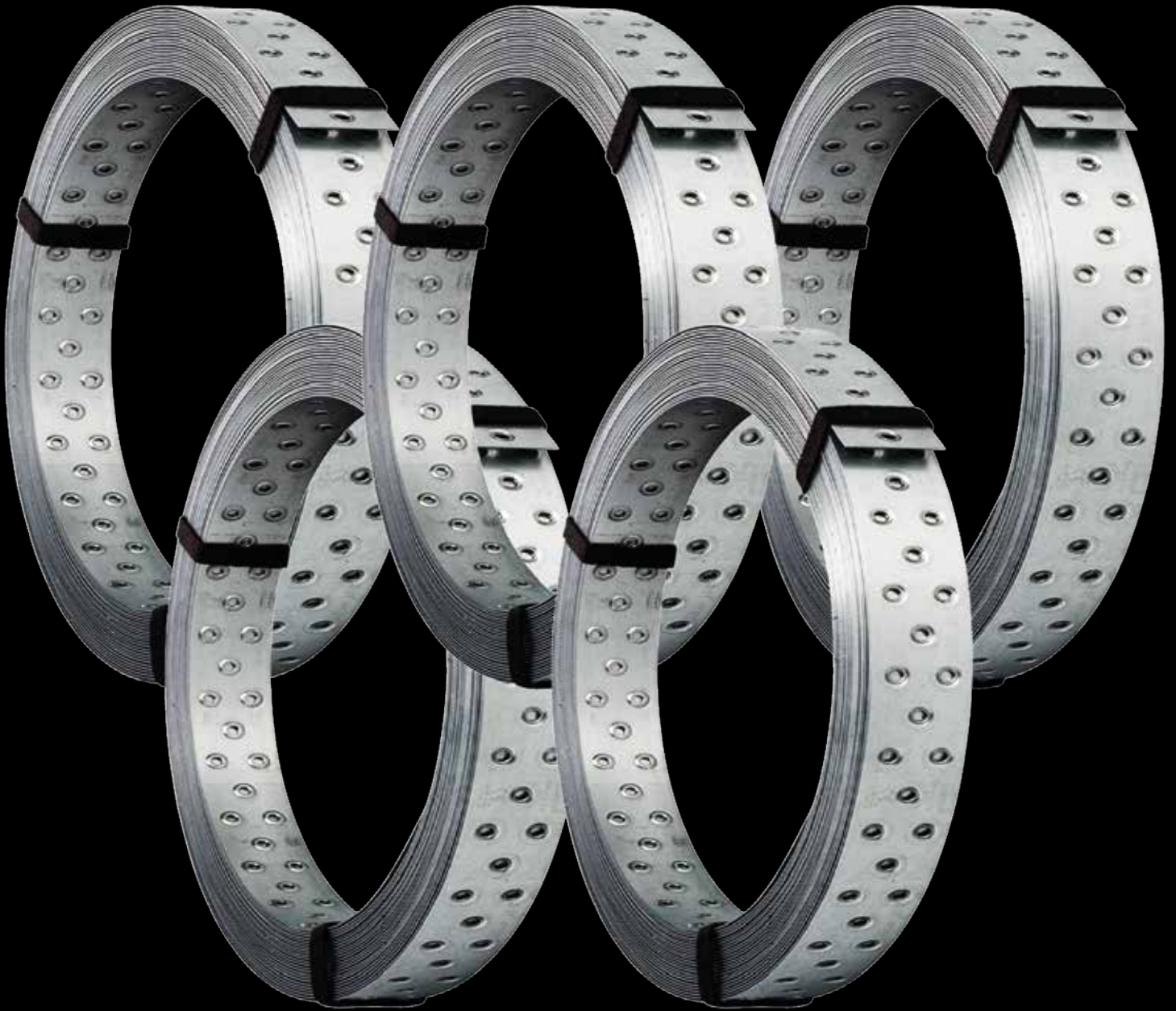


Erfahre mehr am
SIGA-Messestand
oder auf siga.swiss



- ✓ **regensicher und diffusionsfähig**
hohe Sicherheit bei Feuchtigkeit
- ✓ **robust und abriebfest**
keine Beschädigung während
der Bauphase
- ✓ **transparent und rutschfest**
schnell und sicher arbeiten

siga.swiss



Leichter, fitter, stärker.



BAN094050

Manche Champions sind einfach so konzipiert.

BAN09 ist kein gewöhnliches Windrispenband, es ist schlank und leicht. Trotzdem hat es die gleiche Tragfähigkeit wie herkömmliche Windrispenbänder. Das liegt daran, dass die Löcher nicht gestanzt werden, sondern der Stahl zu einer Verstärkung umgeformt wird, welche dem BAN094050 seine überlegene Stärke verleiht.

Weitere Informationen unter strongtie.de oder rufen Sie uns an +49 6032 86 80-0.

SIMPSON
Strong-Tie

PRÄZISE und MASSIV



SWISS KRONO **MAGNUMBOARD®** OSB

- Ökologische Holzbauweise, nachhaltig, schnell und flexibel
- Mit großformatigen, fugenfreien und direkt beschichtbaren Elementen (18,00 x 2,80 m)

[swisskrono.com/de](https://www.swisskrono.com/de)



DAS MASSIVE HOLZBAUSYSTEM

- Ressourcen schonend, kurze Transportwege
- Emissionsarm, formaldehydfrei verleimt
- Made in Brandenburg
- SWISS KRONO Bauteil-Planer

[timberplanner.com](https://www.timberplanner.com)

Terhalle

450 MITARBEITER - EIN ZIEL - EIN TEAM FÜR SIE IM EINSATZ

Wir bieten unseren Kunden den umfassenden Komplettservice. Unsere Produkte und Dienstleistungen werden ständig erweitert und optimiert zum Nutzen unserer Kunden. Flexibilität, Termintreue und Schnelligkeit zeichnen unsere Arbeit aus.



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- und Metallarbeiten

Bauschlosserei
Stahlbau
Blechbearbeitung
Edelstahlbearbeitung





TJIKO — EINFACH. ANSPRUCHSVOLL.

Die Tjiko-Systembauweise als Lösungsansatz für schnellen, bezahlbaren Wohnbau.

Tjiko ist ein mittelständisches Unternehmen im Wachstum. Unsere Vision ist es, das Baugewerbe nachhaltig zu verbessern. Durch unsere vorgefertigten, konfigurierbaren Bad-Module machen wir das Bauen einfach, effizient und planbar. Dafür haben wir das Tjiko Bad als fertig anwendbares Produkt entwickelt. Mit geringem Aufwand ist das komplette Thema Badezimmer schon in einer frühen Planungsphase abgehakt!

Die Module werden ab Stückzahl eins und Just-in-time geliefert. Zur Montage müssen sie nur noch mit dem Kran in das Gebäude eingehoben werden. Anschließend erfolgt der bauseitige Anschluss.

Konfigurieren Sie Ihre Badmodule auf Basis unserer Modelle und Designlinien ganz einfach online.



KONTAKT

Tjiko GmbH | Rosenheim
www.tjiko.de
+49 8031 2715370

✉ kontakt@tjiko.de

📷 [@tjikogmbh](https://www.instagram.com/tjikogmbh)

in [Tjiko GmbH](https://www.linkedin.com/company/tjiko-gmbh)

Trelleborg Bauprofile Dichten. Dämpfen. Schützen



Für Holzkonstruktionen vom Fundament bis zum Dach

- Entkopplungs- und Stoßstellendämmprofile
- Schallschuttlager
- Adaptive Ausgleichsprofile



ModularEase – Der revolutionäre „Bausatz“ für die Flankenentkopplung

- Nur 2 Versionen für bis zu 8 Stockwerke
- Spart Zeit und vereinfacht die Lagerhaltung
- Für Brandschutzanforderungen auch mit Quellband



Bewährte Mauerabsperribahnen

- Geprüfte Qualitätsprofile gegen aufsteigende Feuchtigkeit
- Flexible Positionierung
- Geringer Reibungswiderstand zwischen Wandelementen





Ihr Spezialist im Holzbau

ZÜBLIN Timber steht für anspruchsvolle und zukunftsweisende Lösungen im Holzingenieurbau. Aus einer Hand bieten wir die Entwicklung, Produktion, Lieferung und Ausführung hochwertiger Holzbausysteme – von einfachen Tragwerken über den komplexen Ingenieurholzbau bis hin zur schlüsselfertigen Bauausführung. Gemeinsam mit unseren Kundinnen und Kunden gestalten wir effiziente Lösungen und nachhaltige Lebensqualität.

www.zueblin-timber.com



SKAIO Heilbronn,
© Häfele, Nagold

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

WIN

Vertrieb FORUM **HOLZBAU**
Bahnhofplatz 1, 2502 Biel/Bienne, Schweiz
T +41 32 372 20
info@forum-holzbau.com, www.forum-holzbau.com

ISBN 978-3-906226-35-4