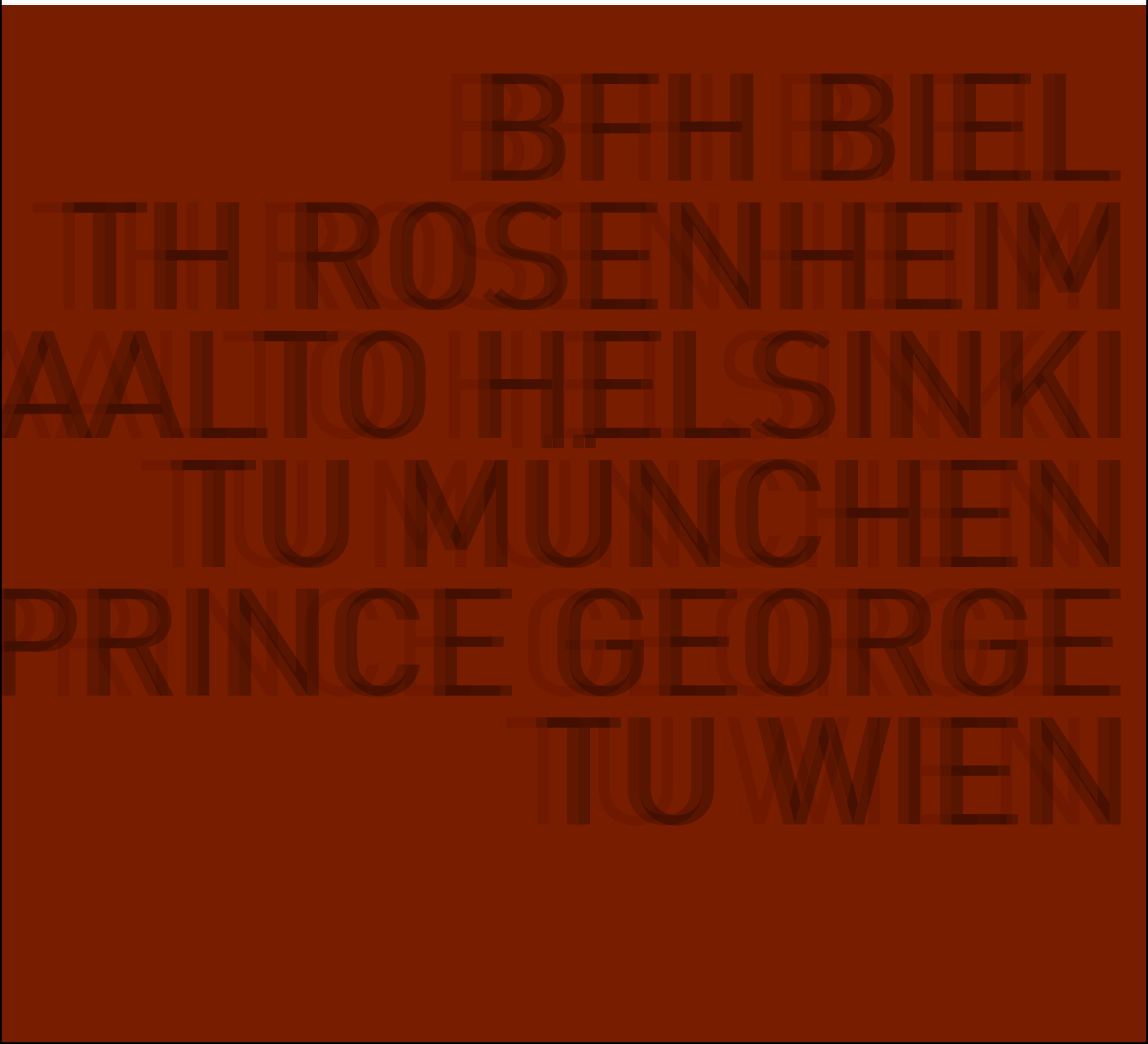
FORUM HOLZBAU INTERNATIONAL

27. Internationale Holzbau-Forum (IHF)
Band II 30. November und 1. Dezember 2023
Aus der Praxis – Für die Praxis



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

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

© 2023 by FORUM HOLZBAU, Biel/Bienne, Schweiz
ISBN 978-3-906226-59-0

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

FORUM HOLZBAU INTERNATIONAL

27. Internationale Holzbau-Forum (IHF)

Band II 30. November und 1. Dezember 2023

Congress Innsbruck, Österreich

Aus der Praxis – Für die Praxis

Aalto University Helsinki, Helsinki (FI)
Berner Fachhochschule, Biel/Bienne (CH)
Technische Hochschule Rosenheim, Rosenheim (DE)
Technische Universität Wien, Wien (AT)
Technische Universität München, München (DE)
University of Northern British Columbia, Prince George (CA)

Das 28. IHF findet vom 4.–6. Dezember 2024 statt.

Inhalt

Donnerstag, 30. November 2023

HOLZUMFELD

Klima und Holzbau

Holzbau und Klimaschutz – der Beitrag der Holzverwendung 17
Dr. Sebastian Rüter, Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg, Deutschland

HOLZTRAGWERKE

Ausgewählte Projekte

Innovationsfabrik 2.0 Heilbronn 27
Martin Vogelmann, merz kley partner, Heilbronn, Deutschland

EDEKA's neues Zentrallager in Holz 35
Johannes Lederbauer, Wiehag, Altheim, Österreich

Wegweisende Geschossbauten

Eco Campus Arboretum – Europas größte Bürocampus aus Holz, Nanterre (FR) 45
Antoine Fouchier, Mathis, Muttersholtz, Frankreich

HORTUS – Bauen nach dem Standard von morgen 53
Richard Jussel, Blumer-Lehmann, Erlenhof, Schweiz

Modulbau – neue Dimensionen 67
Christian Kaufmann, Kaufmann Bausysteme, Reuthe, Österreich

Tore zur Welt: Flughäfen aus Holz

Ein Himmelstor aus Holz – Neuer Hangar schafft wirkungsvollen Rahmen für ein Luftschiff in Mülheim 73
Tobias Wiesenkämper, Ripkens Wiesenkämper Beratende Ingenieure, Essen, Deutschland
Falk Berling-Hoffmann, Marx Krontal Partner, Hannover, Deutschland

PDX Airport: 9-acre Mass Timber Roof 79
Jared M. Revay, Timberlab, Portland, USA

Airport City Flughafen Luxemburg – Skypark Business Center 97
Dirk Berg, Steffen Holzbau, Grevenmacher, Luxemburg

HOLZBAUENTWICKLUNG

Eurocode 5 – Was wird sich ändern, was ist neu?

Die Evolution des Eurocode 5 – ein Überblick mit Schwerpunkt DIN EN 1995-1-1 111
Prof. Dr. Stefan Winter, Technische Universität München, München, Deutschland

Bemessung von HBV-Decken nach DIN CEN/TS19103 121
Prof. Dr. Jörg Schänzlin, Hochschule Biberach, Biberach, Deutschland

Brettsperrholz, LVL und GLVL – die neuen EC5 Materialoptionen 143
Dr. Tobias Wiegand, Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., Wuppertal, Deutschland

Bemessung von Durchbrüchen – erweiterte Möglichkeiten mit dem neuen Eurocode 5 153
Prof. Dr. Philipp Dietsch, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland
Martin Danzer, Technische Universität München, München, Deutschland

Biobasierte Holzklebstoffe und CO_2-optimierte Holzwerkstoffe

Biobasierte Klebstoffe für die Holzwerkstoffindustrie 169
Dr. Christian Hübsch, UPM Biochemicals, Leuna, Deutschland

Der Carbon Footprint entlang der Lieferkette 173
Dr. Martina Bender, Egger Holzwerkstoffe, St. Johann, Österreich

Certified Biobased Adhesives for Timber Construction 183
Dr. Christian Fild, Henkel, Sempach, Schweiz

Klebetechnik

Glued stressed skin and ribbed elements, reinforcements and repair – the enhanced possibilities of the new DIN 1052 – 10 + 11 191
Simon Aicher, MPA Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Punktgestützte Flachdecken aus stumpf verklebten TS3-Brettsperrholzplatten – Erfahrungen der letzten 10 Jahre 211
Dr. Marcel Muster, Timbatec Holzbauingenieure Schweiz, Zürich, Schweiz
Sven Bill, Timber Structures 3.0, Thun, Schweiz

Gastreferat

Was bedeutet ChatGPT? 225
Prof. Dr. Alexander Pretschner, Software&Systems Engineering an der TU München
Forschungsinstitut des Freistaats Bayern für software-intensive Systeme
Bayerisches Forschungsinstitut für Digitale Transformation, München, Deutschland

Freitag, 1. Dezember 2023

Block A

Exponierte Ingenieurbauwerke

Fahrradparkhaus Eberswalde 241
Prof. Dr. Michael Staffa, ifb frohloff staffa kühl ecker, Berlin, Deutschland

Parkhaus Schwanenweg Wendlingen 247
Juliane Deubel, knippershelbig, Stuttgart, Deutschland

Parkhaus Bad Aibling – Mehrwert mit Holz 255
Matthias Eisele, merz kley partner, Dornbirn, Österreich

Der neue Eurocode 5-2 – Holzbrücken: Änderungen und Neuerungen 265
Matthias Gerold, Harrer Ingenieure Gesellschaft Beratender Ingenieure VBI, Karlsruhe/Ostfildern/Baden-Baden, Deutschland

THE TRETTEN BRIDGE COLLAPSE. How could it happen? 279
Prof. Kjell Arne Malo, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway

Green Gantry – Langzeitmonitoring einer Mautbrücke aus Holz 291
David Glasner, Technische Universität Graz, Graz, Österreich
Georg Flatscher, freiraum, Zivilingenieurbüro für das Bauwesen, Hartberg, Österreich

Block B

Redundante Tragwerke / Hallenbauten

Einführung in redundante Tragwerke Beispiel Balken- und Fachwerkroste 305
Prof. Michael Flach, Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich

Reciprocal Frame Roof of the Events Beacon for a Tech Office Building in California 313
Eric Karsh, Equilibrium Consulting Inc., Vancouver, Canada

Ressourceneffiziente Segmentschalen aus Holz 321
Prof. Dr. Jan Knippers, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Wisdome – Technisches Museum Stockholm 331
Stefan Rick, SJB Kempter Fitze, Frauenfeld, Schweiz

Sporthalle in Zürich mit vorgespannten BSH-Trägern 341
Dr. Marcel Muster, ETH Zürich, Zürich, Schweiz

Block C

Mehrgeschossiger Holzbau heute – zuverlässig, innovativ und wirtschaftlich

Konzepte für die Tragstruktur von schlanken, hohen Holzbauten 357
Charles Binck, Andrea Frangi, ETH Zürich, Institut für Baustatik und Konstruktion, Zürich, Schweiz

Limberlost Place: A 10 Storey Slab Banded Structure 375
Robert Jackson, Fast + Epp, Vancouver, Canada

Holz-Hybrid-Hochhaus CARL, Pforzheim: Erkenntnisgewinn aus dem Planungs- und Bauprozess 389
Peter W. Schmidt, Peter W. Schmidt Architekten, Pforzheim, Deutschland

Mid- and high-rise timber buildings in Japan 401
Prof. Dr. Mikio Koshihara, the university of Tokyo, Tokyo, Japan

Stockholm Wood City – a vision for an entire neighbourhood in timber 411
Oskar Norelius, White arkitekter, Stockholm, Sweden

Block D

TUM.wood – Abenteuer Forschung – ein Diskussionsforum

ALLES AUS HOLZ: Rohstoff der Zukunft oder kommende Krise – Ansätze zu einer ausgewogenen Bioökonomie 421
Dr. Susanne Winter, Ökosystem und Ressourcenschutz/WWF, Berlin, Deutschland
Nina Griesshammer, Wald– und Umweltpolitik/Waldökologie, Frankfurt, Deutschland

Die Zukunft der Holznutzung: Aktive Bewirtschaftung sichert Walderhalt und Klimaschutz 427
Johannes Schmitt, Deutscher Forstwirtschaftsrat (DFWR), Berlin, Deutschland

Rohholzaufkommen in Deutschland – Schwerpunkt Laubholz 433
Prof. Dr. Andreas Bolte, Thünen-Institut für Waldökosysteme, Eberswalde, Deutschland

Epilog

Aus der Tradition in die Zukunft

Tradition of wooden construction and its recent trends in Japan 443
Seiichi Fukao, Tokyo Metropolitan University, Tokyo, Japan

Kennt der Holzbau Grenzen des Wachstums? 455
Philipp Dietsch, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Moderation und Begrüssung

Dr. Aicher Simon
Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 4
70569 Stuttgart, Deutschland

+49 7116 856 22 87
Simon.Aicher@mpa.uni-stuttgart.de

Alversammer Wolfgang
Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

+49 8031 805 23 81
wolfgang.alversammer@th-rosenheim.de

Bürgi Hanspeter
Berner Fachhochschule,
Architektur, Holz und Bau
Aarbergstrasse 112
2502 Biel/Bienne, Schweiz

+41 34 426 41 58
hanspeter.buergi@bfh.ch

Prof. Dr. Dietsch Philipp
Karlsruher Institut für Technologie
R.-Baumeister-Platz 1
76131 Karlsruhe, Deutschland

+49 7216 084 22 11
dietsch@kit.edu

Prof. Flach Michael
Universität Innsbruck
Technikerstrasse 13
6020 Innsbruck, Österreich

+43 5125 076 32 00
Michael.Flach@uibk.ac.at

Prof. Germerott Uwe
Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau
Solothurnstrasse 102
2500 Biel/Bienne, Schweiz

+41 32 344 03 50
uwe.germerott@bfh.ch

Prof. Heinzmann Andreas
Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

+49 8031 805 23 08
andreas.heinzmann@fh-rosenheim.de

Prof. Kohaus Maren
Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

+49 8031 805 29 40
maren.kohaus@th-rosenheim.de

Prof. Dr. h.c. Köster Heinrich
Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

+49 8031 805 120
heinrich.koester@th-rosenheim.de

Prof. Dr. Küppersbusch Daniel
Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

+49 8031 805 2867
daniel.kueppersbusch@th-rosenheim.de

Prof. Müller Andreas
Berner Fachhochschule,
Architektur, Holz und Bau
Solothurnstrasse 102
2500 Biel/Bienne, Schweiz

+41 32 344 03 19
andreas.mueller@holzbauexperten.ch

V. Prof. Niemann Anne
Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

+49 8031 805 25 57
anne.niemann@th-rosenheim.de

Ass. Prof. Dr. Schauerte Tobias
Linnaeus University
Lückligsplats 1
35195 Växjö, Schweden

+46 470 708 824
tobias.schauerte@lnu.se

Prof. Dr. Winter Stefan
Technische Universität München
Arcisstrasse 21
80333 München, Deutschland

+49 8928 922 417
winter@tum.de

Prof. Winter Wofgang
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13
1040 Wien, Österreich

+43 6991 033 50 49
winter@iti.tuwien.ac.at

Referenten

Dr. Aicher Simon
Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 4
70569 Stuttgart, Deutschland

+49 7116 856 22 87
Simon.Aicher@mpa.uni-stuttgart.de

Berg Dirk
Steffen Holzbau S.A.
13, rue de Flaxweiler
6776 Grevenmacher, Luxemburg

+352 71 96 86 27
d.berg@steffen-holzbau.lu

Binck Charles
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Stefano-Franscini-Platz 5
8093 Zürich, Schweiz

+41 44 633 50 26
charles.binck@ibk.baug.ethz.ch

Böttcher Frank
boettcher.science
Kurfürstenstrasse 15
50678 Köln, Deutschland

+49 2213 405 454
frank@boettcherscience.de

Prof. Dr. Dietsch Philipp
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
R.-Baumeister-Platz 1
76131 Karlsruhe, Deutschland

+49 7216 084 22 11
dietsch@kit.edu

Dr. Fild Christian
Henkel & Cie. AG
Industriestrasse 16
6203 Sempach, Schweiz

+41 41 469 68 67
christian.fild@henkel.com

Dr. Flatscher Georg
freiraum ZT gmbh
Am Ökopark 10
8230 Hartberg, Österreich

+43 6508 614 120
g.flatscher@freiraum.engineering

Prof. Em. Dr. Fukao Seiichi
Tokyo Metropolitan University
2-23-22 Shimizu, Suginami-ku,
167-0033 Tokyo, Japan

+81 3 3394 3046
sfukao@jcom.home.ne.jp

Dr. Bender Martina
FRITZ EGGER GmbH & Co. OG
Weiberndorf 20
6380 St. Johann in Tirol, Österreich

+43 50 60 00
martina.bender@egger.com

Bill Sven
Timber Structures 3.0 AG
Niesenstrasse 1
3600 Thun, Schweiz

+41 58 255 42 07
sven.bill@ts3.biz

Prof. Dr. Bolte Andreas
Thünen-Institut
Alfred-Möller-Strasse 1
16225 Eberswalde, Deutschland

+49 3334 382 03 44
andreas.bolte@thuenen.de

Deubel Juliane
knippershelbig GmbH
Tübinger Strasse 12-16
70178 Stuttgart, Deutschland

+49 7112 483 93 60
j.deubel@knippershelbig.com

Eisele Matthias
merz kley partner GmbH
Sägerstrasse 6
6850 Dornbirn, Österreich

+43 5572 360 31 22
m.eisele@mkp-ing.com

Prof. Flach Michael
Universität Innsbruck
Technikerstrasse 13
6020 Innsbruck, Österreich

+43 5125 076 32 00
Michael.Flach@uibk.ac.at

Fouchier Antoine
Mathis SAS
3 Rue des Vétérans
67600 Muttersholtz, Frankreich

+33 3 69 67 32 95
a.fouchier@mathis.eu

Gerold Matthias
Harrer Ingenieure GmbH
Am Grossmarkt 10
76137 Karlsruhe, Deutschland

+49 7211 819 200
m.gerold@harrer-ing.net

Glasner David
Institut für Holzbau und Holtechnologie,
Technische Universität Graz
Münzgrabenstrasse 183
8010 Graz, Österreich

+43 316 873 46 13
david.glasner@tugraz.at

Gunnarsson Sigurdur
Asplan Viak AS - Oslo
Kongens gate 1
0153 Oslo, Norwegen

+47 40 60 56 70
sigurdur.gunnarsson@asplanviak.no

Dr. Hofmeister Sandra
DETAIL Business Information GmbH
Messerschmittstrasse 4
80992 München, Deutschland

+49 8938 162 00
hofmeister@detail.de

Dr. Hübsch Christian
UPM Biochemicals GmbH
Am Haupttor – Bau 4614
6237 Leuna, Deutschland

+49 3461 519 50 00
christian.hubsch@upm.com

Jackson Robert
Fast + Epp
201-1672 West 1st Ave
0153 Vancouver, Kanada

+1 604 731 74 12
rjackson@fastepp.com

Jussel Richard
Blumer-Lehmann AG
Erlenhof
9200 Gossau, Schweiz

+41 71 388 58 61
richard.jussel@blumer-lehmann.com

Prof. Kanada Mitsuhiro
Tokyo University of the Arts
12-8 Ueno Koen, Taito-ku
110-8714 Tokyo, Japan

+81 50 5525 2240
Mitsuhiro.Kanada@arup.com

Karsh Eric
Equilibrium Consulting Inc.
202 - 388 W 8th Avenue
0153 Vancouver, Kanada

+1 604 730 14 22
ekarsh@eqcanada.com

Kaufmann Christian
Kaufmann Bausysteme GmbH
Baien 115
6870 Reuthe, Österreich

+43 5514 314 40 25
c.kaufmann@kaufmannbausysteme.at

Prof. Dr. Knippers Jan
Universität Stuttgart
Keplerstrasse 11
70174 Stuttgart, Deutschland

+49 7116 858 27 54
jan.knippers@itke.uni-stuttgart.de

Koshihara Mikio
University of Tokyo
Komaba 4-6-1, Meguro-ku
V6J 1G1 Tokyo, Japan

+81 3 5452 6840
kos@iis.u-tokyo.ac.jp

Lederbauer Johannes
WIEHAG Holding GmbH
Linzer Strasse 24
4950 Altheim, Österreich

+43 7723 465 14 14
j.lederbauer@wiehag.com

Lehner Ludwig
Technikum Laubholz GmbH
Bahnhofstrasse 41 + 52
110-8714 Göppingen, Deutschland

+49 1525 320 31 11
jana.schmid@technikumlaubholz.de

Prof. Malo Kjell Arne
Norwegian University of Science and Technology
Richard Birkelands vei 1a
7030 Trondheim, Norwegen

+47 7359 47 84
kjell.malo@ntnu.no

Dr. Muster Marcel
Timbatec Holzbauingenieure Schweiz AG
Ausstellungsstrasse 36
8005 Zürich, Schweiz

+41 58 255 15 20
marcel.muster@timbatec.ch

Norelius Oskar
White Arkitekter Stockholm
Östgötagatan 100
11692 Stockholm, Schweden

+46 840 226 03
oskar.norelius@white.se

Prof. Dr. Pretschner Alexander
Technische Universität München
Insterburger Strasse 23a
153 8505 München, Deutschland

+49 8928 917 876
alexander.pretschner@tum.de

Rick Stefan
SJB Kempter Fitze AG
Zürcherstrasse 239
8500 Frauenfeld, Schweiz

+41 52 728 90 40
s.rick@sjb.ch

Prof. Dr. Schänzlin Jörg
Hochschule Biberach
Karlstrasse 6
88400 Biberach, Deutschland

+49 7351 582 520
schaenzlin@hochschule-bc.de

Schmitt Johannes
Deutscher Forstwirtschaftsrat e. V.
Claire-Waldoff-Strasse 7
10117 Berlin, Deutschland

+49 3023 591 57 60
schmitt@dfwr.de

Spiehs Helmut
Binderholz Bausysteme GmbH
Solvay-Halvic-Strasse 46
5400 Hallein, Österreich

+43 6245 705 00
helmut.spiehs@binderholz.com

Dr. Tsuchimoto Takahiro
Building Research Institute
Tachihara 1 / Ibaraki
305-0802 Tsukuba, Japan

+81 29 864 6610
tutti@kenken.go.jp

Veloso João
Portilame

Braga, Portugal

+35 191 505 81 99
joao.veloso@portilame.com

Voisin Andréa
Arborescence
23, rue Notre-Dame
69006 Lyon, Frankreich

+33 4790 796 54
bet.arborescence@orange.fr

Revay Jared M.
Timberlab, A SWINERTON COMPANY
1601 NE Columbia Blvd.
OR 97211 Portland, Amerika

+1 503 735 50 03
Jared.Revay@timberlab.com

Dr. Rüter Sebastian
Thünen-Institut für Holzforschung
Leuschnerstrasse 91c
21031 Hamburg, Deutschland

+49 4073 962 619
sebastian.rueter@thuenen.de

Schmidt Peter W.
Peter W. Schmidt Architekten GmbH
Kuppenheimstrasse 4
75179 Pforzheim, Deutschland

+49 7231 453 90
pwschmidt@pws.eu

Skotheimsvik Tim
Multiconsult ASA
Grandfjæra 32
OR 97211 Molde, Norwegen

+47 93 83 50 82
tim.skotheimsvik@multiconsult.no

Prof. Dr. Staffa Michael
ifb frohloff staffa kühl ecker
Beratende Ingenieure PartG mbB
Rheinstrasse 45-46
12161 Berlin, Deutschland

+49 3085 994 30
staffa@ifb-berlin.de

Veiga Ana Sofia

Rua Almada Negreiros N.º72-C
7080-059 Vendas Novas, Portugal

+35 126 528 33 66
asofinaasofiaveiga@gmail.com

Vogelmann Martin
merz kley partner GmbH
Sägerstrasse 6
6415 Dornbirn, Österreich

+43 5572 360 31 18
m.vogelmann@mkp-ing.com

Dr. Wiegand Tobias
Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.
Heinz-Fangman-Strasse 2
42287 Wuppertal, Deutschland

+49 2027 697 27 32
wiegand@ib-wiegand.de

Wiesenkämper Tobias
Ripkens Wiesenkämper
Beratende Ingenieure PartGmbB
Zweigertstrasse 14
45130 Essen, Deutschland

+49 2018 718 120
wiesenkaemper@rw-ingenieure.de

Dr. habil Winter Susanne
WWF Deutschland
Reinhardtstrasse 18
10117 Berlin, Deutschland

+49 3031 177 72 35
susanne.winter@wwf.de

Prof. Dr. Winter Stefan
Technische Universität München TUM
Arcisstrasse 21
80333 München, Deutschland

+49 8928 922 417
winter@tum.de

Donnerstag, 30. November 2023

Holzumfeld

Klima und Holzbau

Holzbau und Klimaschutz – der Beitrag der Holzverwendung

Dr. Sebastian Rüter
Thünen-Institut für Holzforschung
Hamburg, Deutschland



Holzbau und Klimaschutz – der Beitrag der Holzverwendung

In der öffentlichen Debatte um das richtige Maß der Verwendung des nachwachsenden Rohstoffes Holz werden gesellschaftliche Zielkonflikte offenbar: Klima- und Biodiversitätsschutz zur Begegnung der ökosystemaren Krisen auf der einen Seite, auf der anderen Seite all die gesellschaftlichen Anforderungen, die vor allem mit der Nutzung und Verarbeitung von Rohstoffen zu Energieträgern und Konsumgütern befriedigt werden, worauf ein Großteil der Wertschöpfung des globalen Wirtschaftssystems basiert.

Gerade beim Wald als Bestandteil des natürlichen bzw. biogenen Kohlenstoffzyklus und der Nutzung seines nachwachsenden Rohstoffes Holz im Bausektor zeigt sich diese gesellschaftliche Ambivalenz sehr deutlich. Auf der einen Seite gilt Wald als Inbegriff für Natur- und Lebensraum schlechthin und er ist für das Klimasystem der Erde von zentraler Bedeutung; zugleich kann mit der Verwendung des heimisch verfügbaren Rohstoffes Holz dringend benötigter Wohnraum geschaffen werden, während seine industrielle Verarbeitung natürlich ebenfalls mit Treibhaus (THG)-Emissionen verbunden ist.

Allzu oft wird der Fokus je nach Interessenslage selektiv auf einzelne Systemelemente gelegt – während eine faktenbasierte Berechnung der THG-Effekte das gesellschaftliche Dilemma zwischen einem für das Erdsystem global zu großen Verbrauch von Ressourcen sowie deren Weiterverarbeitung zu Konsumgütern und tatsächlich wirksamem Klimaschutz schonungslos offenlegen kann; doch ist sie zugleich Grundvoraussetzung für die Identifizierung sinnvoller, glaubhafter und umsetzbarer Klimaschutzmaßnahmen, die die anvisierte Transformation zur Klimaneutralität überhaupt erst gelingen lassen kann. Und hierbei kann der nachwachsende Rohstoff Holz eine zentrale Rolle spielen [vgl. 1].

1. Die Treibhausgas-relevanten Wirkmechanismen des Forst- und Holzsektors

Die für die Treibhausgas (THG)-Bilanz des Forst- und Holzsektors relevanten Wirkmechanismen haben zeitlich und räumlich voneinander abweichende Dimensionen und werden daher mit verschiedenen Berechnungsmethoden auf unterschiedlichen Skalenebenen mit unterschiedlichen Systemgrenzen (Land- bzw. Produktsystem) erfasst. Während die Emissionen von Produkten und Gebäuden mit der international standardisierten Methode der Ökobilanzierung ermittelt werden, spielt diese Methode bei der Abschätzung von Effekten der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung auf den biogenen Kohlenstoffzyklus und den damit verbundenen THG-Emissionen keine Rolle. Diese, einer zeitlichen und räumlichen Dynamik unterliegenden Effekte, werden mit Methoden ermittelt, die der Weltklimarat (engl. kurz IPCC) zur Abschätzung der THG-Bilanz von Ländern bereitstellt [vgl. 1, 2, 3].

Die große Herausforderung besteht nun darin, diese etablierten Methoden und Datenquellen zur Berechnung der drei relevanten Wirkmechanismen des Forst- und Holzsektors konsistent miteinander zu kombinieren, um mögliche THG-Minderungseffekte der Verwendung holzbasierter Produktsysteme in Gebäuden fundiert und belastbar abzuschätzen zu können und somit das Systemverständnis zu erhöhen.

1.1. Die biogene Kohlenstoffbilanz in Wald und Holzprodukten und ihre Verbuchung in der nationalen Berichterstattung

Lebende Biomasse besteht zu 50 % seiner Trockenmasse aus Kohlenstoff und die biogene Kohlenstoffbilanz von Wald und Holz wird über die Änderung definierter Kohlenstoffspeicher auf nationaler Ebene abgeschätzt. Vergrößert sich der jeweilige Speicher über einen definierten Zeitraum, fungiert er als Senke (als negativer Wert dargestellt), verkleinert er sich, wirkt er als Quelle (positiver Wert). So kann die CO_2-Wirkung des Gesamtsystems der Forst-und Holzkette abgeschätzt werden, indem die ermittelten Veränderungen der einzelnen Kohlenstoffspeicher (ober- und unterirdische Biomasse, Streuauflage, Totholz und Bodenkohlenstoff sowie Holzprodukte) aufaddiert werden, anstatt den Fluss der einzelnen

Kohlenstoffmoleküle durch das Gesamtsystem zu verfolgen. Zugleich werden fehlende Informationen über Kohlenstoffflüsse im Gesamtsystem («Kohlenstoff-Verluste») implizit in der Atmosphäre verbucht: nur wenn Informationen über die gespeicherte Kohlenstoffmenge des zu analysierenden Speichers vorliegen, wird über dessen Änderungen der Netto-Beitrag (Senke oder Quelle) ermittelt.

Konsequenterweise können daher auch Holzprodukte auf nationaler Ebene eine Senke darstellen, da sich der Speicher vergrößert, wenn mehr Holz in die stoffliche Verwendung geht als am Ende des Lebenszyklus der Holzwaren abgängig ist. Die Berechnung dieser Speicherentwicklung erfolgt über jährlich verfügbare Statistikdaten zu Produktion und Außenhandel von Holzhalbwaren [vgl. 3]. Dies bedeutet zugleich, dass je nachdem welche Daten verwendet werden, die Grenzen des Systemraums und damit die Emissionsbilanz unterschiedlich ausfällt. Dies betrifft im Wesentlichen die Entscheidung, welches Land die über Landesgrenzen gehandelte Holzmengen bei der Berechnung der gespeicherten Kohlenstoffmenge verbucht. Da jeder Export zugleich einen Import eines anderen Land darstellt und es gilt, Doppelbuchungen zwischen Staaten zu vermeiden, wurde nach jahrelangen Verhandlungen der Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention im Jahr 2011 beschlossen, die Verbuchung von Holzprodukten in der nationalen THG-Bilanz gemäß des «Produktionsansatzes» vorzunehmen [4, 5, 6]. Aktuell beläuft sicher der Beitrag der Holzprodukten zu den in der Quellgruppe «Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft» (engl. kurz LULUCF) ausgewiesenen biogenen CO_2-Emissionen auf eine Senkenwirkung in Höhe von -8,7 Mio. t CO_2 [3].

Für die immobilen Kohlenstoffspeicher im Wald spielt die Frage der Systemgrenzen keine Rolle, da die Erfassungsmethode – die Auswertung der Kohlenstoffbestände über Waldinventuren – eine eindeutige Zuordnung der Emissionen zu einem Land erlaubt. Da Änderungen in den Kohlenstoffspeichern allerdings immer erst mit der Verfügbarkeit neuer Inventurdaten fundiert ermittelt werden können und die Derbholzabgänge bis dahin lediglich auf Basis der nationalen Holzeinschlagsstatistik kalibriert werden, können letzte Entwicklungen, wie z.B. die Dürreereignisse der letzten Jahre nicht sofort im nationalen THG-Inventar abgebildet werden. So ist davon auszugehen, dass die aktuell noch ausgewiesene Senke in Höhe von -41,4 Mio. t CO_2-Äq. [2] mit dem vorliegen neuer Daten der Bundeswaldinventur im kommenden Jahr deutlich angepasst werden muss – die Senke im Wald absehbar zurückgehen wird.

1.2. Die nicht-biogenen Treibhausgasemissionen der Verarbeitung und Nutzung des Rohstoffes Holz

Neben biogenen CO_2-Emissionen, die auch in der holzverarbeitenden Industrie bei der oftmals stattfindenen energetischen Nutzung des anfallenden Verschnitts bzw. Industrierestholzes anfallen, werden wie in allen Fertigungsprozessen des verarbeitenden Gewerbes auch fossile Energieträger bzw. Rohstoffe (Gas, Öl, Treib- und Klebstoffe) sowie Strom (Strom-Mix Deutschland) benötigt. Deren Nutzung verursacht ebenfalls THG-Emissionen, die im nationalen Inventar nach dem Quellprinzip z.B. bei den Energieerzeugern ermittelt und in den Hauptkategorien «Energie» und «Industrieprozesse» berichtet werden. Dies bedeutet allerdings, dass – ebenso wie bei anderen Wirtschaftszweigen – keine explizite Zuordnung der Emissionen zur holzverarbeitenden Industrie stattfindet [1].

Sollen die mit der Erzeugung von Gütern aus Holz als Rohstoff verbundenen THG-Emissionen explizit quantifiziert bzw. zugeordnet werden, müssen andere als vom IPCC bereitgestellt Methoden angewandt werden; dies ist v.a. die Ökobilanzmethode, auf die im Folgenden eingegangen wird.

2. Berechnung der Treibhausgasbilanz von Bauprodukten und Gebäuden über ihren gesamten Lebenszyklus

Die vom europäischen Normungsgremium CEN/TC 350 «Nachhaltiges Bauen» entwickelte horizontale Normenreihe spezifiziert methodische Aspekte der Ökobilanzierung von Bauprodukten (EN 15804:2012+A2:2019) als zentralem Bestandteil von Umweltproduktdeklarationen (engl. environmental product declaration, kurz EPD), die als Informationsträger für die anschließende Umweltbewertung auf Gebäudeebene gemäß der Norm EN 15978 herangezogen werden [7]. Von zentraler Bedeutung ist hierbei die Unterteilung der Umweltwirkungen in die verschiedenen Lebenszyklusabschnitte der Bauprodukte und Gebäude. So beinhaltet die Herstellungsphase (Modul A) mit der Rohstoffbereitstellung (A1) für die Produktion der Baustoffe (A3) bis hin zum Bau- bzw. Einbauprozess (A5) Informationen über Umweltbelastungen, die zumeist retrospektiv erfasst bzw. gemessen werden können, während die Daten entlang der Nutzungs- (Modul B) und Entsorgungsphase (Modul C) lediglich als Szenarien beschrieben werden können. Potentiell realisierbare Umweltvorteile, die weniger mit den materialinhärenten Eigenschaften der verwendeten Bauprodukte und somit ihren zwangsläufig bei der Entsorgung auftretenden Umweltauswirkungen zusammenhängen (z. B. den Treibhausgasemissionen bei der Verbrennung von Holz), werden außerhalb des Lebenszyklus des Gebäudes optional in einem Modul D ausgewiesen. Dies betrifft im wesentlichen mögliche Umweltvorteile, die sich aber letztlich nur auf Makroebene sinnvoll beschreiben lassen [vgl. 1].

Für die Berechnung der Treibhausgasbilanz ist der Indikator «Treibhauspotential» (engl. Global Warming Potential, GWP) von Relevanz, wobei der biogene Kohlenstoff in dem Lebenszyklusabschnitt der Rohstoffgewinnung (Modul A1) in Form von CO_2 auf das Produktsystem als materialinhärente Eigenschaft übertragen und am Lebenszyklusende der funktionalen Einheit, also des jeweiligen Bauproduktes wieder ausgebucht wird. Seit dem Jahr 2019 (EN 15804:2012+A2:2019) wird neben dieser Spezifizierung der Indikator in drei Unterkategorien untergliedert [7]:

- Treibhauspotential fossil (GWP_{FOSSIL})
- Treibhauspotential biogene (GWP_{BIOGEN})
- Treibhauspotential Landnutzung und Landnutzungsänderung (GWP_{LULUC}).

Nicht zu verwechseln ist diese vorgegebene Ausweisung des biogenen Kohlenstoffgehaltes im Treibhauspotential GWP («-1/+1») mit einer biogenen Kohlenstoffspeicherwirkung, wie sie auf nationaler Ebene berechnet wird. Dieser erst auf Makroebene zum Tragen kommende Effekt, der in Abhängigkeit einer ermittelten Größenänderung definierter Kohlenstoffspeicher (u. a. in Holzprodukten) einer mögliche Quell- oder Senkenwirkung entspricht, existiert allein schon aus physikalischen Gründen nicht für ein einzelnes stofflich genutztes Produkt (z. B. deklarierte Einheit 1 m² «Spanplatte» oder funktionale Einheit «Holzfenster») oder Gebäude: schließlich nimmt die Holz- bzw. materialinhärente biogene Kohlenstoffmenge entlang seines Lebenszyklus weder zu noch ab. Es wird lediglich transparent der Umstand einer zeitlich verzögerten Freisetzung abgebildet – ohne jedoch daraus Gutschriften abzuleiten [vgl. 1].

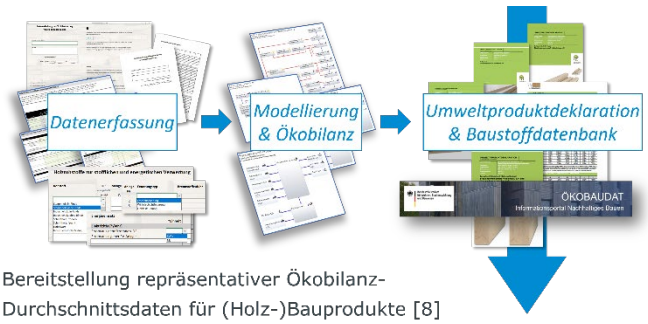
3. Abschätzung nationaler Treibhausgas-Minderungspotentiale der Holzverwendung im Bausektor

Für Holzbauprodukte bzw. Holzhalbwaren, die im Bausektor Verwendung finden, werden vom Thünen-Institut für Holzforschung seit dem Jahr 2012 Ökobilanz-Durchschnittsdaten, die in enger Zusammenarbeit mit der holzverarbeitenden Industrie in Deutschland erstellt werden, in die vom Bauressort betriebene Online-Datenbank ÖKOBAUDAT eingepflegt und fortlaufend jährlich aktualisiert [8]. Darauf aufbauend konnten in weiteren Forschungsprojekten (u.a. Waldklimafonds-Projekt «THG-Holzbau») und FNR-Projekt «HolzImBauDat» erstmalig auch Ökobilanzuntersuchungen auf Gebäudeebene gemäß dieser neuen europäischen Standards durchgeführt werden, um normkonforme Vergleichsrechnungen der THG-Wirkung funktionsgleicher Neubauten vorzunehmen [9, 10, 11, 12].

Um die THG-Emissionsbilanzen der in den Projekten analysierten Gebäude aus unterschiedlichen Baustoffen für die Abschätzung von Sektorentwicklungen mit Hilfe nationaler Statistiken verwenden zu können, müssen aus den verfügbaren Gebäudedaten zunächst entsprechende Durchschnittsdatensätze als sogenannte «Typenvertreter» ermittelt werden [1, 10, 11, 13]. Diese werden in einem weiteren Schritt den beiden für die Analyse des Baustoffs Holz relevanten statistischen Zeitreihen zugeordnet:

- Baufertigstellungen nach vorwiegend verwendetem Baustoff [14]
- Produktions- und Außenhandelsstatistik des produzierenden Gewerbes (hier: Holzhalbwaren) [15, 16]

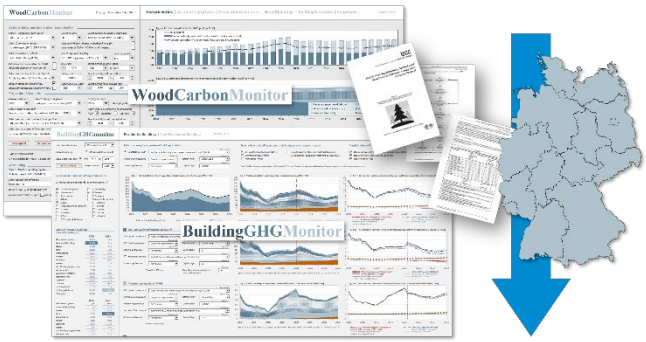
Auf dieser Basis kann bereits der Beitrag der Holzverwendung in Gebäuden zur biogenen Kohlenstoffspeicherwirkung gemäß der THG-Berichterstattung abgebildet (vgl. 1.1) und die nichtbiogenen THG-Emissionen entlang der Verarbeitungskette des Rohstoffs bis hin zur Verwendung in Gebäuden ermittelt werden (IST-Zustand, vgl. 1.2).



Bereitstellung repräsentativer Ökobilanz-Durchschnittsdaten für (Holz-)Bauprodukte [8]



Gebäude-Ökobilanzierung zur Ermittlung repräsentativer „Typenvertreter" [1, 10, 11, 13]



Abschätzung von THG-Effekten auf nationaler Ebene mit Hilfe geeigneter Berechnungsmodelle [1, 5, 13]

Abbildung 1: Informationsfluss zur Abschätzung des Beitrags von Holz in Gebäuden in der nationalen THG-Bilanz

Um nun auch mögliche auch mögliche THG-Minderungseffekte einer sich ändernden Holzverwendung auf nationaler Ebene zu quantifizieren (Substitution), d.h. mit solch Szenarien oder möglichen Maßnahmen verbundene zusätzliche THG-Emissionseinsparungen abzuschätzen, müssen in einem dritten Schritt zunächst eine Referenz und eine davon abweichende Entwicklung definiert werden [vgl. 1, 9, 12].

Für die Quantifizierung von THG-Minderungseffekten gegenüber der aktuellen Emissionssituation ist es zunächst naheliegend, die jetzige Marktsituation des Rohstoffverbrauchs im produzierenden Gewerbe einfach fortzuschreiben. Solch eine Extrapolation der aktuellen Produktions- bzw. Verbrauchsmengen der jeweiligen Konsumgüter (hier: Baufertigstellungen von Gebäuden) im Referenzszenario erlaubt es, sich ändernde Marktentwick-lungen oder politisch formulierte Ziele in Bezug auf gesellschaftlich nachgefragte Funktionalitäten (z.B. Wohnraum) in ihren Auswirkungen auf das jetzige Emissionsbudget (IST-Zustand) auszuweisen, welches im aktuellen Nationalen Treibhausgasinventar abgebildet wird – das Klimasystem steht also im Zentrum der Fragestellung [1].

Mit solch einer Festlegung des IST-Zustandes der gesellschaftlichen Nachfrage als Referenz wird jedoch auch schnell deutlich, dass eine zusätzliche Nachfrage in dem jeweiligen Marktsegment (z. B. «400.000 neue Wohnungen»), die mit dem Verbrauch von mehr Rohstoffen bzw. einer Ausweitung der Rohstoffverarbeitung einhergeht, auch mit zusätzlichen THG-Emissionen des produzierenden Gewerbes verbunden ist – unabhängig davon, welche Rohstoffe verwendet werden. Sollen bei solch einer Abschätzung die gesellschaftlichen Bedürfnisse im Mittelpunkt stehen und geht man davon aus, dass diese auch befriedigt werden, können also auch diese sich abzeichnenden Änderungen in den zu

analysierenden Märkten (Prognosen) oder die als gesellschaftliches Ziel definierten Änderungen bei der Bereitstellung von Funktion («400.000 neue Wohnungen») als Referenz herangezogen werden [1].

Für die Analyse der THG-Auswirkungen der Verwendung von Holz als Baustoff in Wohngebäuden, welche im Kontext möglicher Substitutionseffekte in einem Großteil der wissenschaftlichen Literatur Untersuchungsgegestand auf Produkt- bzw. Gebäudeebene ist, bietet sich die Verwendung von Prognosen über die sich insgesamt entwickelnde Wohnungsmarktsituation an (vgl. Abb. 2).

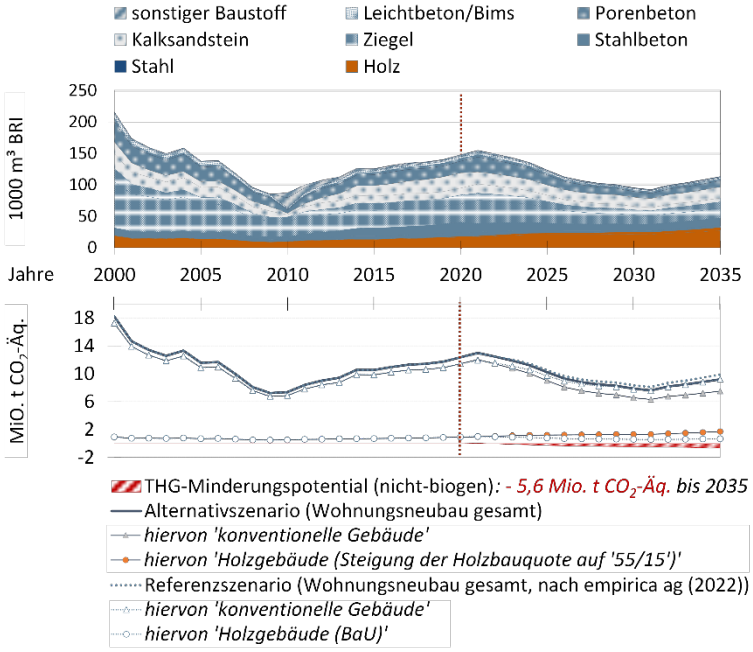


Abbildung 2: Minderungspotential nicht-biogener THG-Emissionen einer erhöhten Holzbauquote («55/15») bis 2035 [1]

Auf dieser Basis können in weiteren Schritten alle relevanten Wirkmechanismen der THG-Bilanz des Forst- und Holzsektors sowohl unter Berücksichtigung internationaler Standards für Bauprodukte und Gebäude als auch der unter der Klimrahmenkonvention und vom Weltklimarat vorgegebenen Bilanzierungsmethoden berechnet werden.

4. Referenzen

[1] Rüter, S. (2023) Abschätzung von Substitutionspotentialen der Holznutzung und ihre Bedeutung im Kontext der Treibhausgas-Berichterstattung. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Working Paper 214, 50 S. <https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn066391.pdf>

[2] Umweltbundesamt (2023) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2023 – Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2021. In: Günther, D., Gniffke, P., und Tarakji, Y. (Hrsg.) Umweltbundesamt, Clim Change 28/2023, 981 S.

[3] Rüter, S. (2023) Holzprodukte (4.G). In: Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) Climate Change 28/2023, Dessau, April 2023, 716-722 S.

[4] UNFCCC (2012) Report of the CMP on its seventh session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011, Addendum: Decision 2/CMP.7 on Land use, land-use change and forestry. FCCC/KP/CMP/2011/10/Add.1.

[5] Rüter, S. (2017) Der Beitrag der stofflichen Nutzung von Holz zum Klimaschutz – Das Modell WoodCarbonMonitor. Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 270 S.

[6] Rüter, S., Matthews, R.W., Lundblad, M., Sato, A. und Hassan, R.A. (2019) Harvested Wood Products. In: Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P., und Federici, S. (Hrsg.). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.Chapter 12, Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use IPCC, Switzerland S. 49.

[7] CEN (2019) Sustainability of construction works – Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. EN 15804:2012+A2:2019.

[8] BMWSB (2023) ÖKOBAUDAT 2022 [online]. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauen (BMWSB) <http://www.oekobaudat.de> (05.11.2023)

[9] Hafner, A., Rüter, S., Ebert, S., Schäfer, S., König, H., Cristofaro, L., Diederichs, S., Kleinhenz, M. und Krechel, M. (2017) Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau). Ruhr-Universität Bochum, Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften Projektbericht Waldklimafonds 28W-B-3-054-01. BMEL/BMUB, 153 S.

[10] Hafner, A. und Schäfer, S. (2018) Environmental Aspects of Material Efficiency versus Carbon Storage in Timber Buildings. Eur. J. Wood Prod. 76(3): 1045-1059. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.203>

[11] Hafner, A. und Özdemir, Ö. (2022) Comparative LCA study of wood and mineral non-residential buildings in Germany and related substitution potential. Eur. J. Wood Prod. (2022): <https://doi.org/10.1007/s00107-022-01888-2>

[12] Rüter, S. und Hafner, A. (2022) Verwendung von Holz in Gebäuden als Beitrag zum Klimaschutz. In: Sahling, U. (Hrsg.) Klimaschutz und Energiewende in Deutschland: Herausforderungen – Lösungsbeiträge – Zukunftsperspektiven. Springer Berlin Heidelberg. S 795-807.

[13] Rüter, S. (2022) Quantifizierung möglicher Treibhausgas-Minderungspotentiale durch den Einsatz dekarbonisierter Baustoffvarianten für Stahl und Beton in Neubauten. Hamburg, Internes Gutachten im Auftrag der Ascona Gesellschaft für ökologische Projekte, König GbR, 10 S.

[14] Statistisches Bundesamt (2023) Bauen und Wohnen. StBA, Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff - Lange Reihen ab 2000.

[15] Statistisches Bundesamt (2015) Produzierendes Gewerbe: Produktion. StBA, Fachserie 4, Reihe 3.1. Diverse Jahrgänge

[16] FAO (2023) FAOSTAT-Forestry Database [online]. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

Holztragwerke

Ausgewählte Projekte

Wegweisende Geschossbauten

Tore zur Welt: Flughäfen aus Holz

Innovationsfabrik 2.0 Heilbronn

Martin Vogelmann
merz kley partner
Heilbronn, Deutschland



Innovationsfabrik 2.0 Heilbronn

1. Allgemeines

Nachdem die alte Innovationsfabrik verkauft wurde, begann direkt im Anschluss die Projektierung der «Innovationsfabrik 2.0» mit dem Ziel, Büroflächen für die Kreativwirtschaft und Startups zu erstellen. Als Standort hat man sich für den «Zukunftspark Wohlgelegen», direkt am Neckar, entschieden.
Im Architekturwettbewerb konnte sich das Büro Waechter+Waechter aus Darmstadt durchsetzen, welches wir bereits in dieser frühen Phase begleiten durften.

Das fünfgeschossige Gebäude hat Grundrissabmessungen von ca. 31m x 31m und ist teilunterkellert.
Die oberirdischen Geschosse sind, mit Ausnahme der Treppenhäuser, als Holzbau realisiert. Die Treppenhäuser und das Untergeschoss sind in Stahlbeton ausgeführt. Gegründet ist das Bauwerk über Ortbetonpfähle.

Das Tragwerk muss im Regelfall den Brandschutzanforderungen F60 genügen. Die Treppenhäuser und das UG haben die Anforderung F90.
Das Gebäude ist mit einer Hochdrucknebelanlage ausgestattet, welche einige brandschutztechnische Abweichungen der LBO kompensiert.



Abbildung 1: Rendering aus dem Architekturwettbewerb
© Waechter + Waechter Architekten

2. Konstruktion

Die Geschossdecken (siehe Abb. 2) bestehen aus sichtbaren Doppelbalken im Abstand von einem Meter, welche im Verbund mit einer 120 mm starken Ortbetonschicht über bis zu 8 m spannen. Der Verbund wird über Kerven hergestellt. Zwischen den Doppelbalken ist eine 40 mm starke Schicht aus Mineralwolle, sodass ein Trennwandanschluss an dieser Stelle schalltechnisch funktioniert.

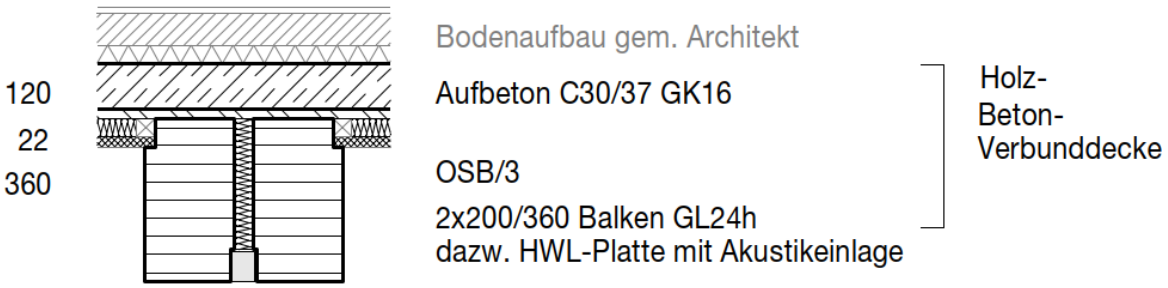


Abbildung 2: Regeldecke

Im Inneren des Gebäudes liegen die HBV-Decken auf Unterzügen und Wände auf (Siehe Abb. 3+4), welche die Lasten bis auf die Bodenplatte bzw. den Sockel führen.

Die Aussteifung des Gebäudes funktioniert durch die Deckenscheibe (Aufbeton) in Verbindung mit den V-förmig angeordneten Stützen. Um die Lasten im EG aufnehmen zu können, war in einigen Bereichen der Wechsel zu GL28h notwendig.

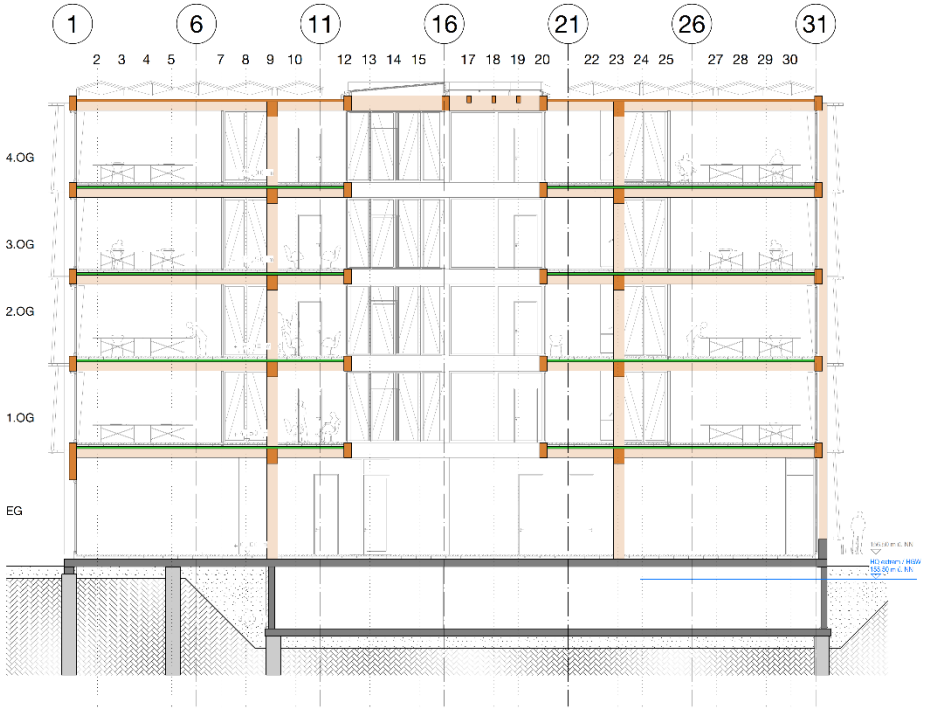


Abbildung 3: Gebäudeschnitt

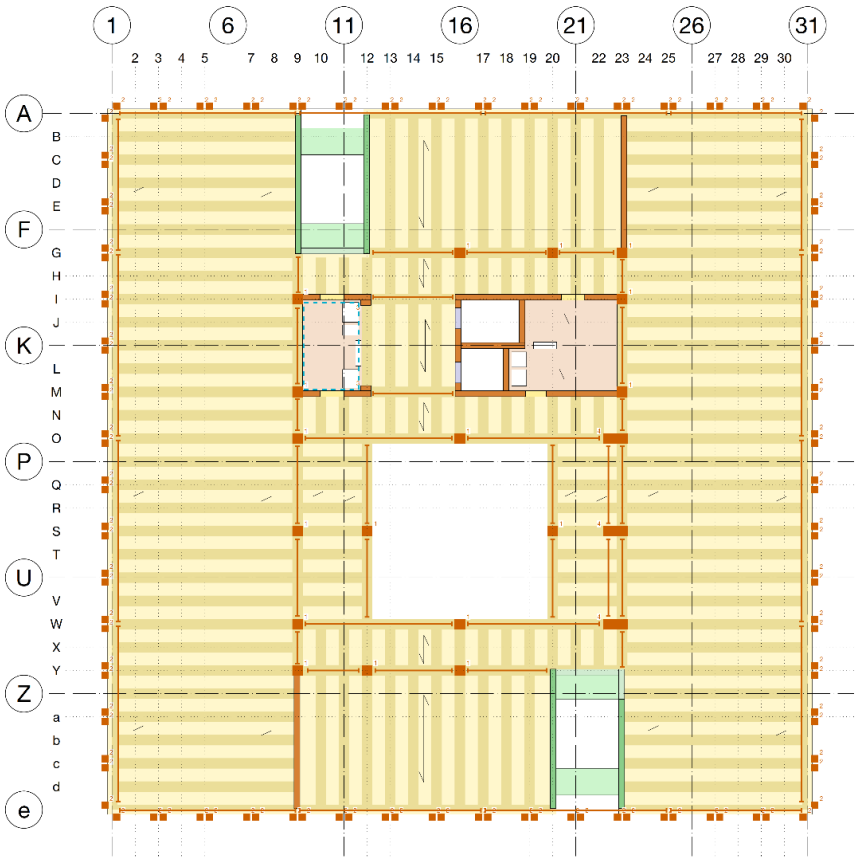


Abbildung 4: Regel-Grundriss

Aus architektonischen Gründen und zur Aussteifung des Gebäudes sind die Fassadenstützen V-förmig angeordnet. Bei der Entwicklung des Knotenpunkts war das Ziel eine möglichst einfache Fügung zu finden. Letztlich hat sich die Form gem. Abb. 5 ergeben, mit welcher man rein über Kontaktflächen viele der auftretenden Kräfte durchleiten konnte. Zusätzlich sind die V-Streben eines Geschosses mit Schlitzblechen, Stabdübeln und Schrauben verbunden. Eine geschossübergreifende Verbindung mit Schlitzblechen konnte vermieden werden, was insbesondere die Montage deutlich erleichterte.

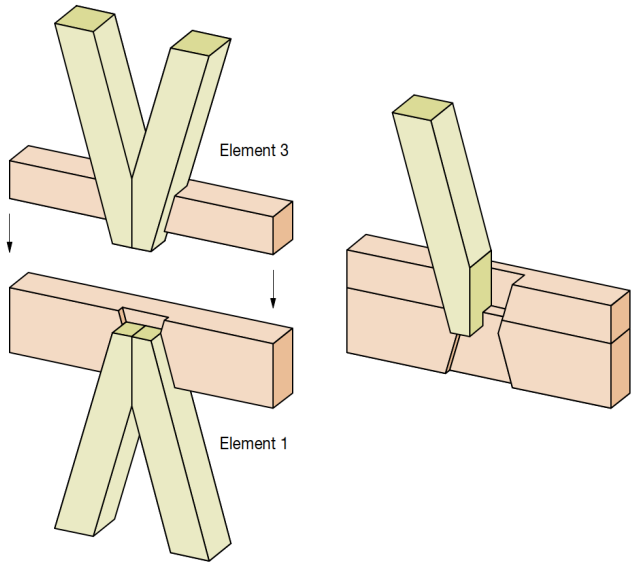


Abbildung 5: Knoten der V-Stützen

3. Elementierung und Montage

Bereits in der Bearbeitung des Vorentwurfs wurde ein Konzept zur Elementierung der Decken und Wände erstellt. Die Fassadenelemente mit den V-Stützen sind dabei durch eine Schwelle und ein Rähm zusammengehalten (siehe Abb. 6). Die Deckenelemente erhielten jeweils einen Randbalken, sowie eine durchgehende OSB-Platte welche nicht nur dem Element Stabilität verleiht, sondern auch als verlorene Schalung für die HBV-Decke dient. Für die Montage entschied sich das Holzbauunternehmen nur die langen, fassadenseitigen Deckenelemente vorzufertigen. Direkt nach der Montage der Geschosse wurde eine vollflächige, diffusionsoffene Wetterschutzbahn auf die OSB-Platten geklebt.
Wie in der Planung vorgesehen, wurde zunächst der komplette Holzbau errichtet und anschließend der Aufbeton der HBV-Decke witterungsgeschützt eingebracht. Die Wetterschutzbahn konnte dabei auf der verlorenen Schalung bleiben und sorgte zudem dafür, dass kein Beton an den Element- bzw. Plattenstößen ins untere Geschoss durchdrang.

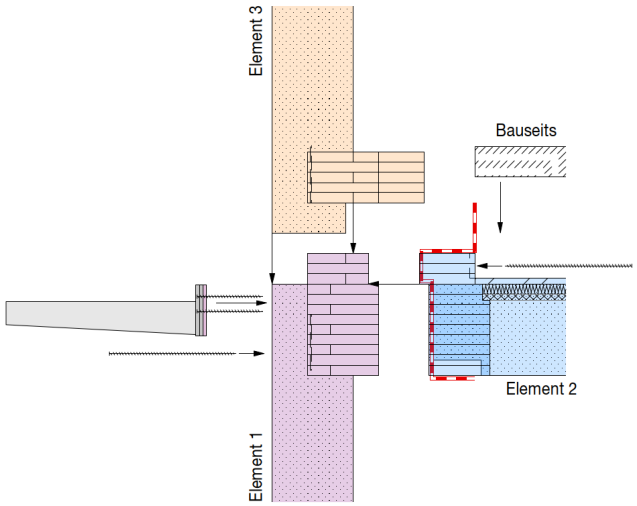


Abbildung 6: Elementierung



Abbildung 7: Fertig montiertes Tragwerk

4. Projektbeteiligte

Bauherr	Stadtsiedlung Heilbronn GmbH
Architekt	Waechter + Waechter Architekten BDA, Darmstadt
Tragwerksplanung	merz kley partner, Dornbirn
Bauphysik	Müller-BBM Building Solutions GmbH, München
HLS-Planung	Gadow + Graeske GmbH, Walldorf
Elektro-Planung	SIB Ingenieurbüro für Elektrotechnik, Heilbronn
Fassade	knippershelbig GmbH, Stuttgart
Brandschutz	Dehne Kruse Brandschutzingenieure, Gifhorn
GU + Massivbau	Implenia Hochbau GmbH, Mannheim
Holzbau	Blumer Lehmann AG, Gossau

EDEKA’s neues Zentrallager in Holz

Johannes Lederbauer
Wiehag GmbH
Altheim, Österreich



EDEKA's neues Zentrallager in Holz

1. Investitionsgrundlage

Um der stetig größer werdenden Sortimentsvielfalt gerecht zu werden, hat sich EDEKA Nordbayern-Sachsen-Thüringen dazu entschieden, rund 600 Millionen Euro in seine Standorte zu investieren.

Ein Eckpfeiler dieser Investitionen ist der Neubau eines Zentrallagers am Logistikstandort Marktredwitz. Hier werden rund 310 Millionen Euro investiert. Dies geschieht, um an diesem Standort ein Sortimentsausmaß von 27.000 Artikeln vorhalten zu können, welches für 2030 prognostiziert wird. Von diesem Lager werden in Zukunft 350 selbstständige Kaufleute direkt, sowie 600 weitere Märkte indirekt, per Huckepackverfahren beliefert.

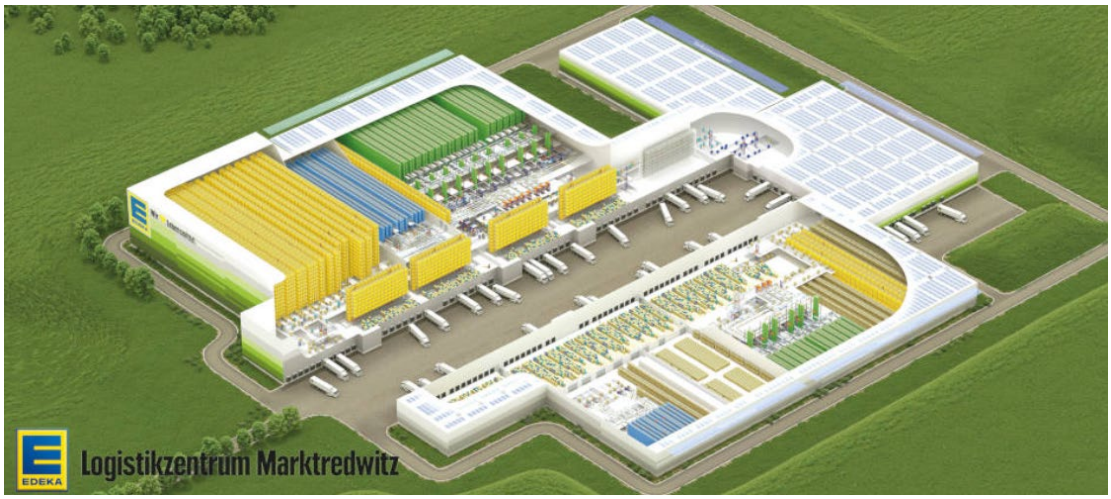


Abbildung 1: Visualisierung des Projektes

2. Eckdaten

Das neue Zentrallager wird auf einem Grundstück mit einer Fläche von rund 461.700 m² im Landkreis Wunsiedel errichtet. Die Planung des Bauvorhabens erfolgte durch «pbb Planung + Projektsteuerung GmbH».

Die Gebäudefläche von mehr als 110.000 m² teilt sich auf drei Bauabschnitte, welche für unterschiedliche Nutzungen konzipiert wurden.

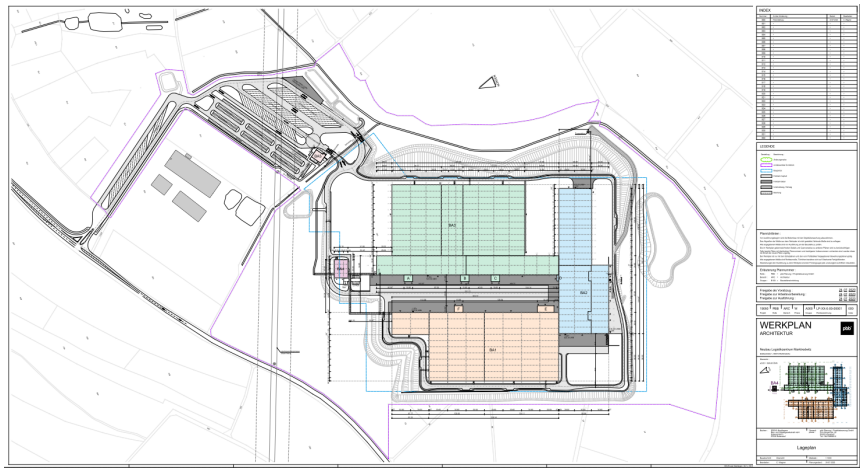


Abbildung 2: Aufteilung des Projektes in drei Bauabschnitte

2.1. BA1

Der erste Bauabschnitt umfasst einen ca. 32.200 m² großen und 14 m hohen Hallentrakt. In diesem werden zukünftig die Sortimentsartikel der Feinkost, Blumen, Obst und Gemüse untergebracht. Weiters beherbergt dieser Bauabschnitt auch einen abgetrennten Bereich, welcher als Ladestation für die Gerätschaften dient.

2.2. BA2

Im zweiten Bauabschnitt sind der Tiefkühlbereich und der Leergutbereich untergebracht. Wie auch der erste Bauabschnitt haben die Hallen im zweiten Bauabschnitt eine Höhe von rund 14 m, werden jedoch mit 20.000 m² Gesamtfläche kleiner dimensioniert.

2.3. BA3

Im dritten Bauabschnitt sind eine Halle mit einer Bauhöhe von 36 m und weitere Hallentrakte mit 27 m Bauhöhe umfasst. Mit rund 43.000 m² ist dieser Bauabschnitt auch flächenmäßig der größte Abschnitt. In diesen Hallen werden moderne Hochregallager installiert, welche zur Lagerung des Trockensortimentes verwendet werden.
Neben diesen drei Bauabschnitten umfasst das Bauvorhaben noch Bauten für Büros und Räume für die Arbeiter. Die Inbetriebnahme des Zentrallagers ist für 2025 vorgesehen.

2.4. BA 4

Im vierten Bauabschnitt, vor dem Hochregal, steht ein Verwaltungsgebäude mit einer Kantine im Erdgeschoss, Sozialräume im 1. Obergeschoss und Verwaltungsräume im 2. Obergeschoss, auf einer Grundfläche von 800 m².

2.5. BA 5

Als fünfter Bauabschnitt, nach den Parkplätzen im Bereich der Zufahrt, steht ein Pförtnergebäude mit Aufenthaltsräumen für LKW-Fahrer und Wach-Dienst, mit einer Grundfläche von 250 m².

3. Planung

In der Planungsphase sicherte die gute Zusammenarbeit der Gewerke und die effiziente Koordinierung durch 3D-Daten im Großen und Ganzen den großen Erfolg auf der Baustelle. Dazu war der Wille aller Beteiligten und eine moderate Vorlaufzeit nötig. Mit der Planung durch WIEHAG wurde im März 2022 begonnen. Dadurch konnte WIEHAG bereits in der Angebotsphase das ausgeschriebene Holzvolumen von 17.000 m³ auf 15.000 m³ optimieren und dem Bauherrn ein wirtschaftlich attraktives Angebot unterbreiten.

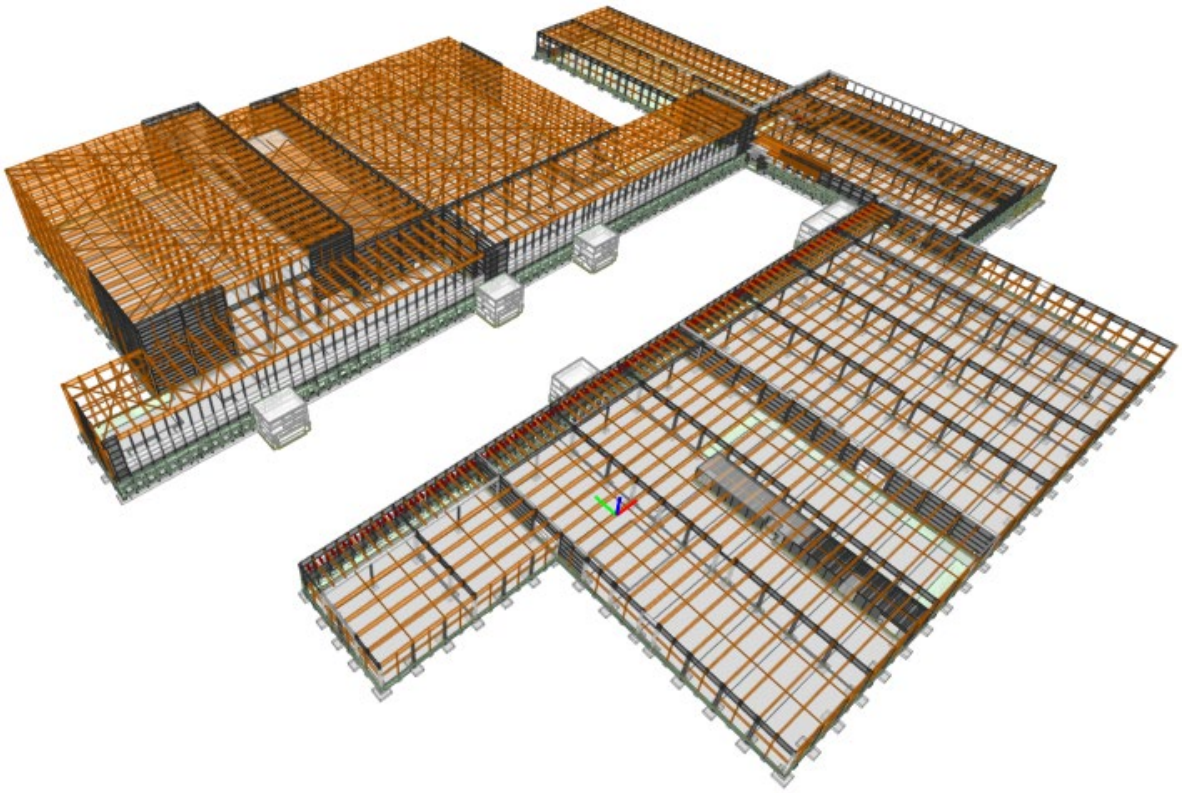


Abbildung 3: Rendering des Bauprojektes aus dem 3D-Zeichenprogramm

Besonders herausfordernd bei der Planung war die Koordinierung der statisch-konstruktiven Schnittstellen. Dafür war ein regelmäßiger und intensiver Austausch des Holzbau-Statikers und des Massivbau-Statikers notwendig (Weitergabe von Lasten, Steifigkeiten und Anschlussdetails).

Durch diese Abstimmung konnte realisiert werden, dass die Fassade und die meisten Fertigteilbeton-Wandteile erst nach Abschluss des Holzbaues fertig montiert wurden. Dies trug erheblich zur Entlastung im Bauzustand bei.

WIEHAG bewies aber auch große Flexibilität. Denn als bei den Außenstützen klar wurde, dass eine komplette Ausführung in Holz einen größeren Querschnitt benötigt, waren die Planungen für das Hochregallager bereits weit fortgeschritten. Man beschloss daher zu einer neuartigen Hybridstütze aus Beton und Holz überzugehen. Diese hat einen kleineren Querschnitt und im Vergleich zu einer vollständigen Betonstütze weniger Eigengewicht. So sparte man nicht nur Transportkosten, sondern auch Bodenverbesserungsmaßnahmen, welche dadurch nicht erforderlich wurden.

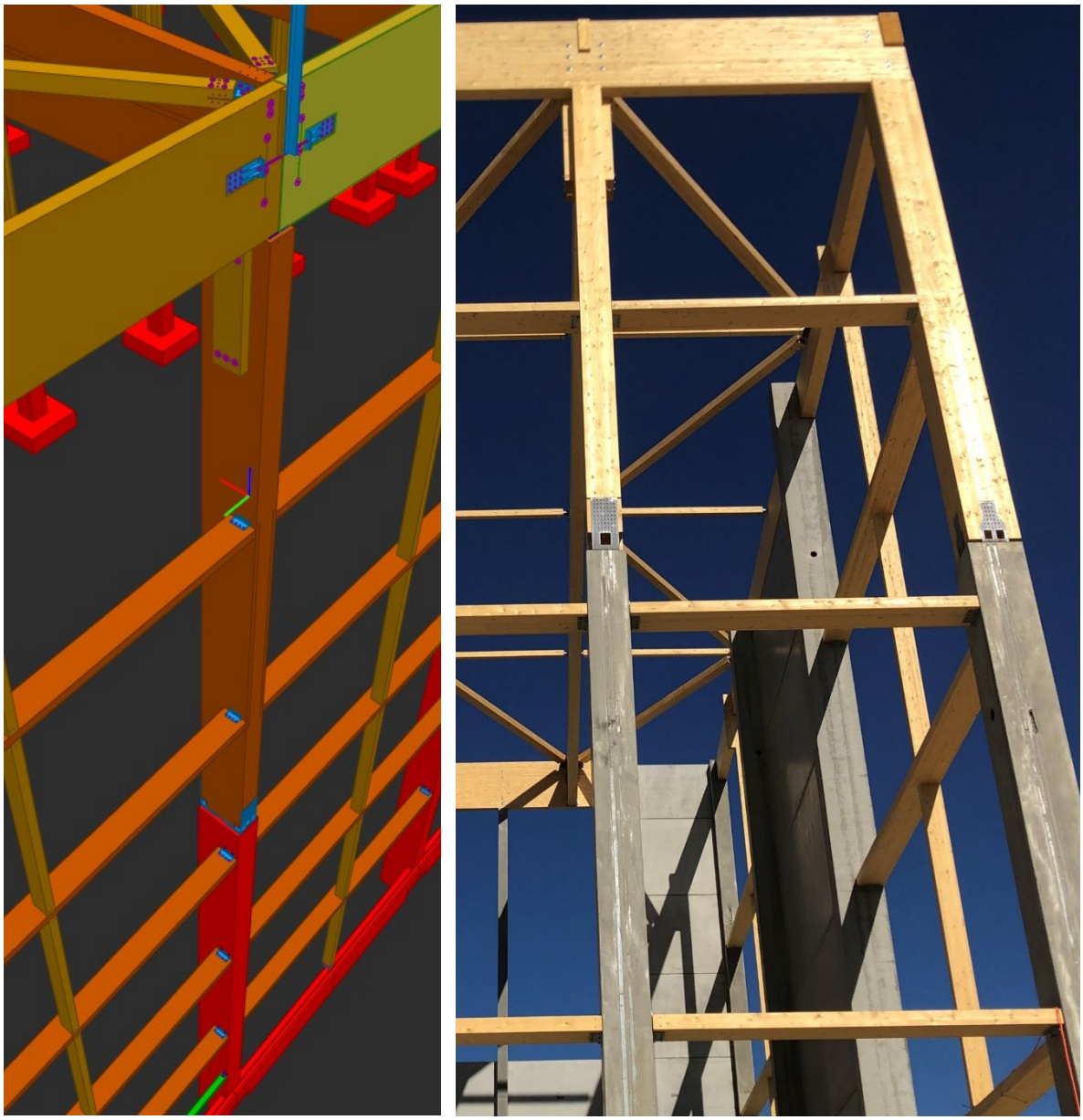


Abbildung 4: Darstellung der Hybridstütze aus dem 3D-Zeichenprogram und Foto von der Baustelle

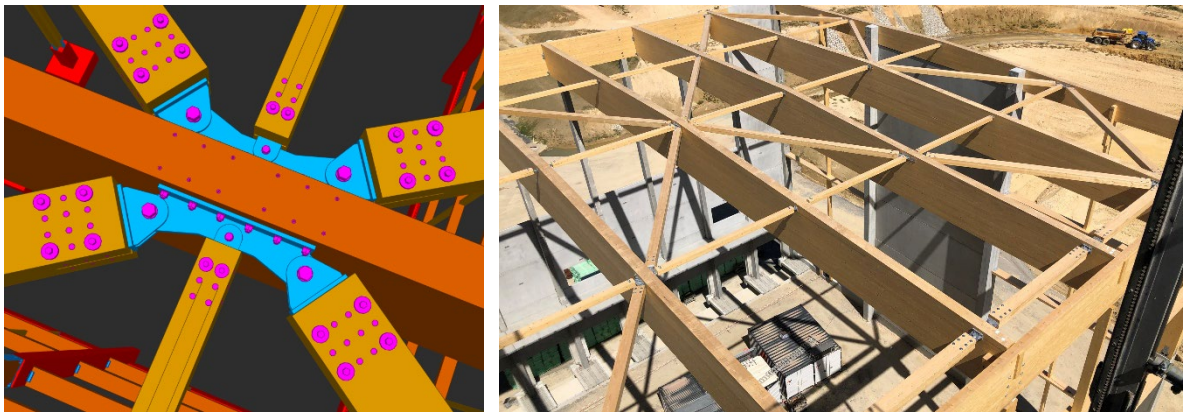


Abbildung 5: Anschlussdetail des Windverbandes im Bauabschnitt 3

Bereits in der Planung wurde besonderes Augenmerk auf die Montagefreundlichkeit gelegt. Die Verbindungen erfolgten über die werkseitig vor montierten Stahlteile. So konnten diese bei der Montage rasch fertig gestellt werden.

Weiters wurden bereits Überlegungen dazu angestellt, wie zum Beispiel das Aufdrehen der 36 m langen Holzstützen erfolgen kann. Auch wurde ein Konzept erstellt, wie die Stützen und Träger bei der großen Höhe abgesichert werden müssen, um immer ein sicheres Arbeiten auf der Baustelle gewährleisten zu können.

Durch diese frühzeitigen planerischen Überlegungen konnte ein wirtschaftlicher und rascher Ablauf auf der Baustelle umgesetzt werden.

Kredo WIEHAG:
Eine saubere, durchdachte und montagefreundliche Planung zahlt sich auf der Baustelle immer aus!



Abbildung 6: Aufstellen der 36 m hohen Stützen

4. Fertigung und Logistik

Die Brettschichtholzträger und Stützen wurden aus heimischer Fichte hergestellt. Statisch waren die Festigkeitswerte GL24h und GL28c notwendig. Da es sich beim Zentrallager von Edeka um Logistikhallen handelt, wurden die BSH-Bauteile in der kostengünstigeren Industriequalität produziert.

Fertigung und Abbund der BSH-Teile erfolgte größtenteils am Produktionsstandort von WIEHAG in Altheim. Hier wurde das BSH geleimt, auf großen und präzisen CNC-Anlagen abgebunden und anschließend in ca. 12.000 Stunden Handabbund fertig gestellt.



Abbildung 7: Produktion WIEHAG

Durch einen bereits in der Planung erstellten Transportplan konnten die benötigten Bauteile für den jeweiligen Transport rechtzeitig gefertigt und termingerecht auf die Bestelle gebracht werden. Für die gesamte Baustelle wurden 270 Sondertransporte benötigt.



Abbildung 8: WIEHAG in Altheim

5. Montage

Mit der Montage des ersten Bauabschnittes wurde im September 2022 begonnen. Dabei kamen in manchen Wochen bis zu 12 Monteure gleichzeitig zum Einsatz. Bei der Montage war vor allem die schlechte Witterung eine große Herausforderung. Trotzdem konnte die Montage erfolgreich durchgeführt und jeder unserer Termine nach Bauzeitenplan des Bauherrn eingehalten werden. Am 21. Juni 2023 wurde der letzte Binder montiert.





Abbildung 9: Bilder von der Montage des 36 m hohen Hochregallagers

6. Zusammenfassung

Mit einem Auftragsvolumen von 15.000 m³ BSH ist das Edeka Zentrallager in Marktredwitz der bisher größte Auftrag im Holzvolumen in der Unternehmensgeschichte von WIEHAG.

Dieser Auftrag besticht aber nicht nur durch seine Größe, sondern auch durch Neuheiten. So wurde zum ersten Mal ein 36 m hohes Hochregallager mit einem Hauptanteil aus Holz gebaut. Auch wurden die kombinierten Holz-Beton-Stützen zum ersten Mal ausgeführt.

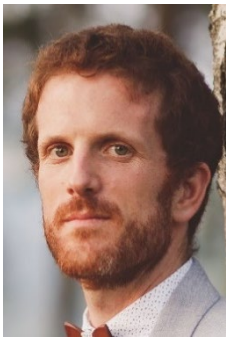
Um Projekte wie dieses möglich zu machen, bedarf es viel Engagement, technisches Wissen und vor allem Teamarbeit von jedem. Das dies bei WIEHAG möglich ist, hat man beim Projekt «Edeka Zentrallager in Marktredwitz» wieder erfolgreich unter Beweis gestellt.



Abbildung 10: Team WIEHAG

Eco Campus Arboretum – Europas größte Bürocampus aus Holz – Nanterre (Fr)

Antoine Fouchier
MATHIS
Muttersholtz, France



2 Eco Campus Arboretum | A. Fouchier

Arboretum

1. Introduction

Arboretum is an office complex built in Nanterre (France) on the edge of the Paris-la-Défense business district. The complex comprises 5 new office buildings and 2 refurbished buildings for restaurants and other services.

It is the largest timber-frame office campus in Europe with a minimal carbon footprint. It is the largest tertiary complex in France to be awarded the BBCA (Bâtiment Bas Carbone) label of excellence and the E+C label at the E2C2 level.

For this project, MATHIS was responsible for the design studies, the manufacture and assembly of the glulam and steel structures and the installation of the CLT floors. The size of the project and the volumes involved presented an industrial and logistical challenge.



Figure 1: Project visualisation – © WO2 – Arboretum

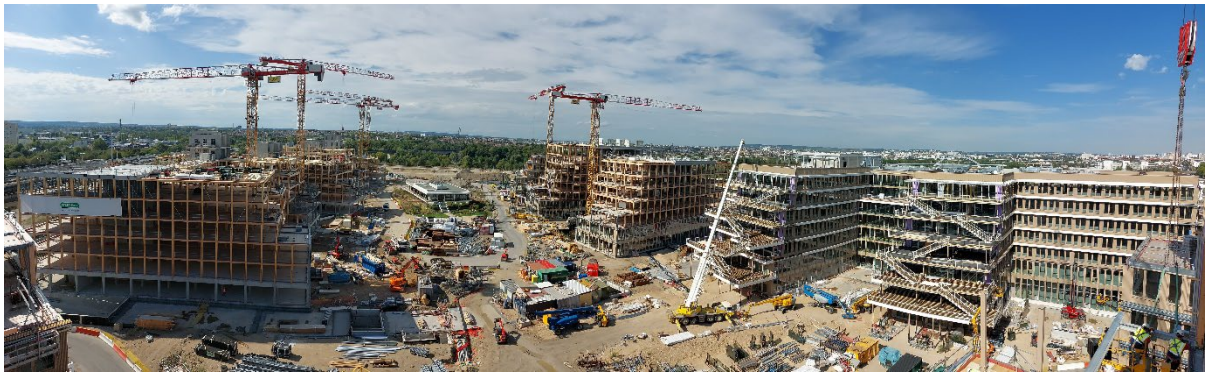


Figure 2: site overview – © MATHIS

2. The project and its constraints

2.1. Data

The project is located on a former paper mill site, 2 buildings of which have been preserved and converted into leisure and restaurant areas. Each building got the name of a tree species: *Amandier (Almond), Biloba, Cèdre (Cedar), Douglas, Epicéa (Spruce).*

Location: *Nanterre – La Défense, former paper mill district, on the banks of the Seine*
Total built surface: *31,400m²*
Office and restaurant floor area: 126,000m

Green spaces: *9 hectares of parkland, including 6 hectares of green spaces (more than 1,000 trees planted and 3,200m² of open-ground vegetable garden and orchard) 17,000 m² of green terraces.*

Timer structures:
– *32,400m³ of wood used, from sustainably managed forests*
Including *5,800 m³ of structural timber (glued laminated timber) and 20,500m³ of CLT (supplied by StoraEnso, timber sourced and processed in Austria)*
– *1100 Tons of steel structure*
– *18 tons of materials recovered and reused*

2.2. Static system

Each building is made up of parallel bars linked by circulation spaces and terraces.
From a static point of view, the foundations, basements, and ground floors are made of reinforced concrete. A concrete core ensures horizontal stability. A glulam (GL24h, GL28h) beams and columns structure and CLT floors are fitted above the base. Steel beams are used to cross certain large spans or to carry extended terraces at the end of the bars. As the bracing cores are eccentric in the plane of the levels, steel portals had to be added at the end of the longest bars to limit the horizontal deformations and torsion of the floors around the cores.

The green roof terraces are supported on concrete slabs, covering the last level. The non-planted terraces are supported on zero-slope CLT floors, a process for which WO02 has filed an ATEx (experimental technical assessment).

The client wanted to retain as much visible timber as possible, limiting false ceilings to the central circulation areas of the office floors. This constraint meant that the connections and joints had to be designed so that they were not visible, while still allowing for adjustment and assembly clearances. The connections were designed as far as possible so that they could be assembled on the floor on the timber elements, saving time on crane rotations and limiting work at height.

The connections between the columns and beams were designed to be as easy as possible to make in our workshops in Alsace. We opted for a system of folded and welded plates, dowelled to the beams and columns. The CLTs are notched at the edge and then L-shaped angles are screwed to join them to the beams. These connections are invisible from the office areas. A threaded rod adjustment system in our lift fittings was developed to control the precision of the floor installation.



Figure 3: construction in progress – MAHTIS © Patrick Raffin



Figure 4: column-beam-CLT connection – MAHTIS © Patrick Raffin

2.3. Fire protection and BIM synthesis

During the execution studies, the complexity of the project was further increased by the integration of active (sprinkler) or passive (gypsum board protection) protection for the wooden buildings, providing R60 resistance in addition to the R60 or R90 fire resistance required for the structure itself. Internal vertical circulation (lifts and staircases) is embedded in the concrete cores.

The integration of this new constraint and all the associated networks demonstrated the need for a perfect BIM connection between the models of all the companies and the usefulness of a well-coordinated synthesis between lots. The synthesis issues had to be addressed sufficiently far in advance of the project to enable the framework to be manufactured on schedule.

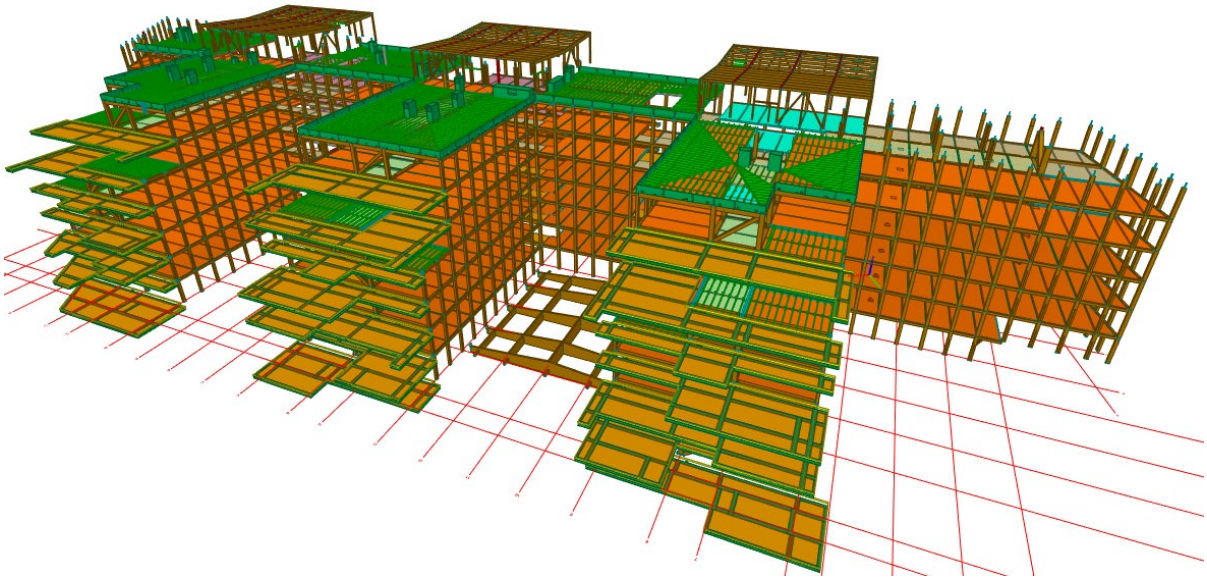


Figure 5: overview of the timber structure 3D model – MAHTIS

3. Construction constraints

3.1. Production and logistics

The glulam elements were manufactured in our factory in Alsace. This project mobilized up to 50% of the factory's activity for 20 months. The cross-sections used were simplified in order to come as close as possible to those of glulam and to reduce the volume of wood to be planed.

The logistics of such a project require perfect organization throughout the process. MATHIS uses a staking plan to monitor the progress of projects in the design, industrial and site delivery phases (gluing, machining and finishing of elements to be shipped). The project is divided into phases corresponding to a transport unit or a lifting sequence. For each of these phases, the staging plan defines the main stages of the project (milestones) and the dates on which they must be validated in order to guarantee the site acceptance dates. In the design phase, the milestones concern the validation of the plans and notes for the phase in coordination with the other lots. At the same time, they allow raw materials and hardware to be ordered in time for production and semi-finished products to be ordered for installation as work progresses. They then oversee the manufacture of the timber structures, their packing and delivery to site.

This staking enables lean management to monitor the entire process. It facilitates the coordination of production between the various projects in progress and limits the need for storage in the factory or, worse still, on site. As it is quicker to install components on site than to manufacture them in the factory, logistical platform storage facilities had to be found close to the site to ensure uninterrupted installation.

The supply of hardware (more than 1.8 million screws were used on the site) was another challenge, at a time when logistical flows were very tight during the post-Covid economic recovery.



Figure 6: lifting of columns and pre-assembled beams – MAHTIS © Patrick Raffin

3.2. Moisture control on site

A moisture management plan was required for these large structures. As part of the construction phase, the timber elements were exposed to the rain, atmospheric humidity and temperature variations for several months, often during the rainy season. Given the horizontal cantilever of over 55m, the floors are not constrained in plan and the longitudinal deformation caused by the increase in humidity in the wood would have been too great for the installation of the facades. In response to this problem, temporary protection was installed.

The aim of this protection was to allow the wood to dry out between rain showers, while at the same time preventing water from stagnating in the joints and running down to the lower levels where the technical equipment was installed. The solution adopted was to install watertight joints at all floor junctions and watertight membranes over the beams. Standing water must be drained regularly. To protect the upper floors from direct rainfall, protective tarpaulins were installed on the facades, while allowing good light levels. Hygrometry sensors have been fitted to the columns and beams so that they can be monitored directly.

4. Conclusion

From a technical, production organisation and logistical point of view, this ambitious project was a challenge.

Delegated project manager: WO2

Architect: Leclercq Associés, Nicolas Laisné Architectes, DREAM Dimitri Roussel, Hubert & Roy Architectes et Antoine Monnet

Structural Engineering Office: TERRELL

Control: APAVE

Co-contractor: GCC

HORTUS – Bauen nach dem Standard von morgen

House of Research and Sustainability

Richard Jussel
Blumer-Lehmann
Erlenhof, Schweiz



2 HORTUS | R. Jussel

HORTUS – Bauen nach dem Standard von morgen

1. Summary

Wenn es um den Baustandard der Zukunft geht, ist nicht nur die Planung und Erstellung eines Gebäudes massgebend, sondern es wird eine neue Denkhaltung gefordert, die die verschiedenen gesellschaftlichen Fragestellungen rund um Themen wie die Ressourcen- und Bodenknappheit, die Mobilität oder den Klimawandel mit Hitze und Starkregen als Folgeerscheinungen, einbezieht. Das Ziel für den Bau eines Gebäudes sollte also lauten, die Emissionen über die gesamte Wertschöpfungskette so schnell wie möglich zu reduzieren.

In der Schweiz ist man in der Reduktion der Betriebsemissionen einen Schritt weiter und auf einem guten Weg. Allerdings werden beim Erstellen von Neubauten noch kaum Emissionen eingespart und in der Planung wird die CO_2-Thematik noch zu wenig oder überhaupt nicht berücksichtigt. Der Ruf nach Vorzeige- und Leuchtturmprojekten wird daher immer lauter.

Mit einer sozial-ökologischen Denkhaltung und einer nachhaltigen Bauweise ist die gesamte Baubranche gefordert, die Netto-Null-Ziele zu erreichen. Die Wirkung eines einzelnen Akteurs ersetzt nie das, was wir gemeinsam erreichen können. Daher muss die gesamte Holzkette zusammenstehen, Stärke beweisen und noch mehr Wissen aufbauen rund ums nachhaltige Bauen. Dabei zu berücksichtigen sind diverse Themen wie: Gesellschaft, Umwelt, Politik, Klimawandel, Ökobilanzierung, Gebäudekonzepte, Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft, Beschaffungssicherheit, Nutzungspotenziale des Waldes, Kaskadennutzung, Negativemissionstechnik und andere mehr.

Um in der Baubranche die Netto-Null-Ziele zu erreichen, heisst es also, dass wir uns den Fragestellungen rund um das nachhaltige Bauen bewusst werden und umgekehrt auch, dass den starken Befürwortern des Klimaschutzes das Vertrauen in die Bauwirtschaft gelingt.



Abbildung 1: Die Grünflächen um den HORTUS begünstigen viele Faktoren rund um die Nachhaltigkeit.

2. HORTUS – Das Baukonzept

Als Pionierprojekt für nachhaltiges Bauen erforscht HORTUS, wie sich ursprüngliche, regionale Materialien in modernen Anwendungen bewähren. Die Renaissance der Baumaterialien Lehm und Massivholz. Zu Beginn stand die Frage im Raum, welche Massnahmen nötig sind, um in der Erstellung eines Gebäudes einen möglichst kleinen ökologischen Fussabdruck zu hinterlassen. Das Ziel war ein CO_2-Ausstoss von ca. 5–7 kg/CO_2 pro m^2 und Jahr und die Abdeckung des energetischen Gewinns mit PV-Anlage muss den Verbrauch abdecken und die Erstellungsenergie / Emission auf ein Minimum reduzieren. Beim Projekt Hortus hat der Bauherr vieles in der eigenen Hand: Vom Bauherrn als Ideenträger bis hin zum Verwalter der Büromietfläche.
Lange bevor auf der Baustelle auf dem BaseLink-Areal in Allschwil gebaut wird, wusste unser Projektleiter Martin Eggenberger bereits, dass über 4000 Kranzüge nötig sein werden, um den Rohbau des künftigen Bürogebäudes zu errichten. Denn zur umfassenden Projektentwicklung gehört ein verlässliches Montagekonzept ebenso dazu wie ein Mock-up, das die Materialwahl unterstützt, die Architektur präzisiert oder Produktionsprozesse definiert. «Die Grösse und die Masse des Gebäudes sind beachtlich. Alle Faktoren und Schritte müssen aufeinander abgestimmt sein: das Bauprogramm, die Produktionsgeschwindigkeit, die Logistik, das Montagekonzept mit Wetterschutz und eben auch die Organisation der Montageabläufe, deren Takt grösstenteils der Kran vorgibt. Denn letztlich stellt die sorgfältige Planung dieser Abläufe bis hin zur kleinsten Schraube sicher, dass wir zuverlässig und termingerecht die geforderte Qualität liefern können.»



Abbildung 2: Mock-up des Hortus Baus auf der Baustelle in Allschwil, BL

2.1. Konsequent transparent

Beim Projekt auf dem BaseLink-Areal in Allschwil bekommt dieser Grundsatz noch mehr Gewicht als sonst. Denn HORTUS beschreitet neue Wege und geht beispielhaft voran. Das Pilotprojekt setzt mit seiner nachhaltigen Bauweise mit natürlichen Materialien aus der Region neue Massstäbe. Bauherr SENN hat zusammen mit Herzog & de Meuron Architekten und den Ingenieuren von ZPF den Grundstein für das klimaschonende Bürohaus mit rund 10 000 m² Fläche gelegt. Wir von Blumer Lehmann konnten mit unserem Holzbau-Know-how schon früh beratend zur Seite stehen und nach der Planung in einem ersten Schritt

mit dem 3 × 6 m grossen, geschosshohen Mockup Antworten auf Fragen zu Konstruktion und Materialisierung liefern. Die Bauherrschaft legt beim verwendeten Holz grossen Wert darauf, dass die Herkunft genau nachvollziehbar ist. Projektleiter Martin Eggenberger: «Gesamthaft verbauen wir rund 3000 m³ regionales Schweizer Holz. Die Beschaffung stellten wir in Zusammenarbeit mit 5 Sägewerken und 30 Forstrevieren bereits seit Herbst 2022 sicher, damit das Holz rechtzeitig geschlagen und auf kurzen Transportwegen angeliefert werden konnte.»



Abbildung 3: HORTUS setzt neue Massstäbe für nachhaltiges Bauen. Die Eröffnung ist im Jahr 2025 geplant.

2.2. Nachhaltigkeit auf höchstem Niveau

Die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft, von Cradle-to-Cradle und Second Life spielten bei der Projektentwicklung eine grosse Rolle für die verwendeten Baumaterialien. So soll jedes Bauteil demontierbar sein und am Ende der Lebensdauer des Gebäudes dem Wald zurückgegeben oder in einem zweiten Leben wiederverwendet werden. Doch Nachhaltigkeit geht beim Projekt HORTUS mindestens noch einen Schritt weiter. So wird mit möglichst ursprünglich belassenen Materialien gebaut, die wenig bearbeitet wurden. Es kommt daher viel Massivholz und nur minim verleimtes Brettschichtholz zum Einsatz. Regional verfügbares Buchenholz wird anstelle des sonst üblichen Fichtenholzes für statisch stark beanspruchte Konstruktionen verwendet. Für die Decken wurden spezielle Holz-Lehm-Verbundelemente entwickelt, die zu drei Viertel aus dem Aushubmaterial der Baustelle bestehen. Und die Energieversorgung wird über die Fotovoltaikanlage auf dem Dach und an der Fassade so maximiert, dass das Gebäude innerhalb einer Generation die aufgewendete graue Bauenergie kompensiert hat und dann energiepositiv ist.



Abbildung 4: Im Gebäude wird viel Massiv- und Laubholz zum Einsatz kommen.

2.3. Bedarfsgerechte Vermietung

Die Eröffnung des HORTUS ist im Jahr 2025 geplant. Insbesondere Digital- und Technologieunternehmen werden hier ein komfortables und gesundes Arbeitsumfeld vorfinden und vom Austausch untereinander und mit der benachbarten Life-Science-Branche profitieren. Ein entsprechendes Vermietungskonzept sieht vor, dass die Mietflächen Raw & Ready ausgebaut werden. Das heisst, die Mieter kümmern sich selbst um die Raumunterteilungen und Inneneinrichtung. In Ergänzung bietet HORTUS voll ausgestattete Gemeinschaftsflächen wie eine Lounge, Sitzungszimmer und sanitäre Anlagen an.



Abbildung 5: Das Vermietungskonzept sieht vor, dass die Metflächen Raw & Ready vermietet werden.

2.4. Lehm – traditioneller Baustoff zeitgenössisch eingesetzt

Gemeinsam mit der Firma «Lehm Ton Erde» entwickelte Blumer Lehmann eine Feldfabrik, in der in Zelten vor Ort, die Holz-Lehm-Verbundelemente für die Bodenelemente hergestellt werden. Die Arbeitsgemeinschaft nahm den Betrieb im Spätsommer auf einem freien Baufeld neben der Baustelle auf.

2.5. Wie funktioniert das konkret?

Die Rezeptur für die Stampflehmmischung wurde von «Lehm Ton Erde» erstellt. Sie besteht zu 76% aus dem lokalen Aushub der Baustelle und zu 24% aus regionalem Mergel. Zur Erstellung der finalen Mischung wurden die einzelnen Bestandteile der Mischung gesiebt und gebrochen und liegen mit Planen vor der Witterung geschützt bereit neben der Feldfabrik.



Abbildung 6: Die Holz-Lehm-Verbundelemente wurden speziell für den HORTUS-Bau entwickelt.

Mit dem Radlader wird im Zwei-Wochentakt der Aushub mit dem Mergel vermischt und final aufbereitet. Die fertige Lehmmischung wird anschliessend in die vorgefertigten Holzelemente über zwei eigens entwickelte Mini-Beschicker eingefüllt und mit Rüttelplatten zu Stampflehm verdichtet. Insgesamt werden für die 12 000 m2 grosse Deckenfläche rund 3000 t Lehmmischung zu Stampflehm verarbeitet. Der Stampflehm schützt die darüberliegende Dreischichtplatte vor Abbrand. Die Elemente wurden einem Brandversuch unterzogen und sind REI60-zertifiziert, das heisst, sie garantieren einen 60-minütigen Feuer- und Rauchwiderstand. Die Masse des Stampflehms wirkt schalldämmend sowie thermisch ausgleichend. Die porösen Oberflächen gleichen Feuchtigkeitsspitzen aus und regulieren das Raumklima: Holz und Lehm ergänzen sich in diesem Deckensystem perfekt.

2.6. Buchenholz und Fichtenholz

Ziel des Projekts ist es, den Werkstoff Holz nicht nur regional zu beschaffen, sondern auch möglichst ohne Leim zu verarbeiten. Keine leichte Aufgabe, wenn es um die statischen Aufgaben der Holzkonstruktion geht. Dafür wird neben dem traditionellen Fichtenholz zusätzlich Buchenholz verwendet, wo nötig. Dieses ist regional gut verfügbar und zudem sehr belastbar. Die Herausforderung besteht darin, dass Buchenholz aufgrund der Härte schwieriger zu bearbeiten ist und stärker auf Feuchtigkeit reagiert als Fichtenholz.



Abbildung 7: Die bearbeiteten Buchenholz-Bauteile warten auf ihren Transport nach Allschwill.

3. Das Nachhaltigkeitskonzept

Die Grundpfeiler des Konzepts enthalten soziale, ökologische und ökonomische Aspekte, die in jeder Phase des Projektes präzisiert und im Sinne der Nachhaltigkeit geplant, gebaut und betrieben werden.

3.1. Nachhaltigkeits-Kennzahlen

Es werden die Nachhaltigkeits-Zielwerte der folgenden Labels angestrebt:
- SNBS, Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz
- SNBS und Agenda 2030
- SIA-Rahmenbedingungen für Nachhaltigkeit

Das Gebäude soll mehr Energie produzieren, als es verbraucht. Ausserdem soll es die notwendige Energie für die Raumwärme und -kühlung, die Warmwasseraufbereitung sowie für Licht und Betrieb der technischen Anlagen, inklusive einer Ladestationen für E-Bikes und E-Autos, selbständig erzeugen.

Mit einer Überproduktion der elektrischen Energie und mit NET (Negativemissionen-Technologie) sollen ausserdem die Erstellungsemissionen und die Betriebsenergie (CO_2 + Graue Energie) innerhalb von maximal 30 Jahren kompensiert werden, so dass der Bau die Umwelt nach dieser Zeit nicht mehr belastet.

Ausserdem wird eine CO_2-Bilanz mit Entwurfsvorgaben der Aufbauten (z.B. Aussenwände, Böden, Dach) und der technischen Anlagen erstellt. Vor der definitiven Auswahl werden entsprechende Berechnungen erstellt. Die Bilanzierung erfolgt in der ersten Phase durch UBP, Umweltbelastungspunkte. Die Werte stellt die KBOB, die Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren, zur Verfügung. Während dem weiteren Bauverlauf wird eine weitergehende differenzierte ökologische Betrachtung vorgenommen.

3.2. Nachhaltigkeits-Zielwerte

Amortisationszeit für graue Energie/CO_2: max. < 30 Jahre

Baumaterialien
Es kommen vorwiegend natürliche Baustoffe zum Einsatz sowie rezyklierte Baumaterialien, bei denen der Energie- und CO_2-Ausstoss schon erfolgt ist. Der Baustoff Holz wird als CO_2-Senke berücksichtigt.

Konstruktion
Folgende Konstruktionsprinzipien tragen dem nachhaltigen Baukonzept ausserdem Rechnung:
- Direkte Lastabtragungen
- Einfache Raster und Struktur
- Trennsysteme
- Kein zu hoher Glasanteil
- Energieeffiziente Gebäudehülle
- Mittlere Speichermasse bei beheizten Räumen
- Nachtauskühlung

Betriebsenergie
Die Betriebsenergie wird wie folgt erzeugt und optimiert:
- Nutzung von Sonnenenergie und Speicherkapazitäten
- Gutes Installationskonzept mit geringem Energieaufwand für Raumwärme und Raumkühlung
- Setzen von Prioritäten in der Steuerung
- Energiemanagement mit Einbezug der Klimadaten
- Datenmanagement – Aufbau für den Anschluss zum Stromnetz der Zukunft Schweiz

Aushub
- Schichtabtrag des Aushubs
- Prüfen und Einsetzen der Materialien zum Bauen
- Stampflehm, Beschwerung, Dachaufbau



Abbildung 8: Gemeinsam mit der Firma «Lehm Ton Erde» entwickelt Blumer Lehmann eine Feldfabrik vor Ort.

Dach
- Sicherung des Wasserkreislaufs mit Nutzung des Wassers des Daches für die Bewässerung
- Höhere Effizienz der PV durch kühleres Dach

PV-Anlage
- Optimierte Anlage auf dem Dach
- Südfassade mit PV-Anlage
- Ost- und Westfassade mit Anlage an der Fassade für den Winterstrom
- Ersatzanlage bei einem Blackout
- Strom für Mobilität: Ausrüstung für E-Bikes und E-Autos.

Wasserkreislauf / Retention
Mit der Retention im Gelände und einem zusätzlichem Wasserspeicher wird der Wasserkreislauf auch für längere Trockenzeiten verbessert. Mit dem Eintrag von nährstoffgeladener Kohle wird nicht nur eine Kohlenstoffsenke erstellt, sondern der Boden kann mehr Wasser speichern und unterstützt die Photosynthese der Pflanzen und Bäume.

Begrünung
Mit dem Setzen der Bäume und Pflanzen können sehr viele Faktoren für das Klima und für die Gesundheit abgedeckt werden. Dazu gehören die natürliche Kühlung durch Schatten, die Produktion von Sauerstoff, sowie die Funktion der Pflanzen als Feinstaubfilter. Nicht zu vergessen; der erholsame Blick auf das Grün.

Kreislaufwirtschaft
Für die Umsetzung wird das Konzept der Kreislaufwirtschaft Schweiz angewendet:



Abbildung 9: Der Nachhaltigkeitskreislauf

1. Geringe Mengen an Baustoffen, die aus nicht erneuerbaren Ressourcen bestehen.
2. Nutzen von Baustoffen, die aus erneuerbaren Ressourcen bestehen.
3. Einsatz von möglichst artreinen Baustoffen.
4. Einfache Reparatur und Ersatz von einzelnen Bauteilen.
5. Einsatz von Bauteilen, die am Ende der Lebensdauer des Gebäudes nochmals genutzt werden können.
6. Beim Rückbau des Gebäudes sollte die überwiegenden Masse der Baustoffe der Natur zurückgeführt werden können.
7. Aus einem kleinen Teil des Gebäudes wird Energie aus der Verbrennung zurückgewonnen.
8. Zuteilung der Masse in der Kreislaufwirtschaft:
   - Anteil Baumaterialien, die aus nicht erneuerbaren Ressourcen bestehen
   - Anteil erneuerbare Ressourcen
   - Anteil der wieder verwendet werden kann
   - Anteil reine Baumaterialien
   - Anteil Rückbau auf Deponie
   - Anteil Verbrennung und Entsorgung

Nachvollziehbarkeit / BIM
Alle verwendeten Baumaterialien werden genau erfasst und die Mengen in digitalem Modell hinterlegt (Madaster). So können die Zielwerte in jeder Planungsphase gut überwacht werden. Der Nutzen soll auch im späteren Facility Management gross sein.

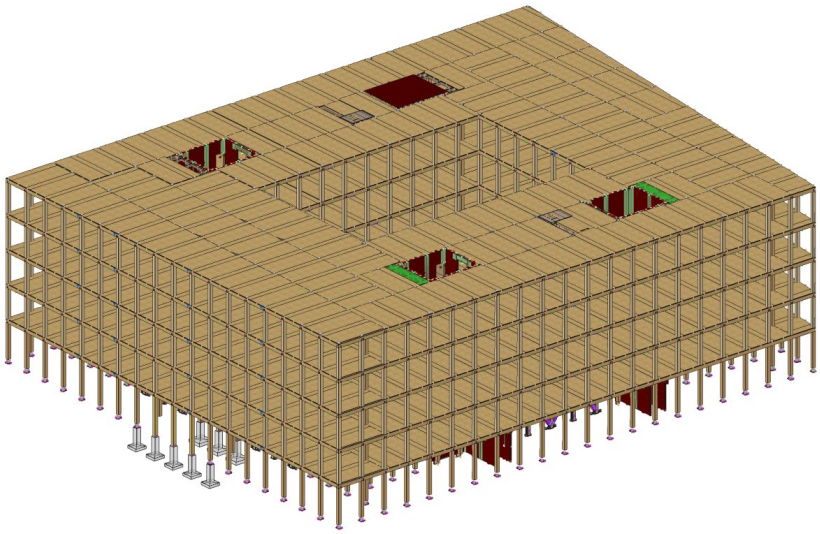
4. Beteiligte Parteien am Bau

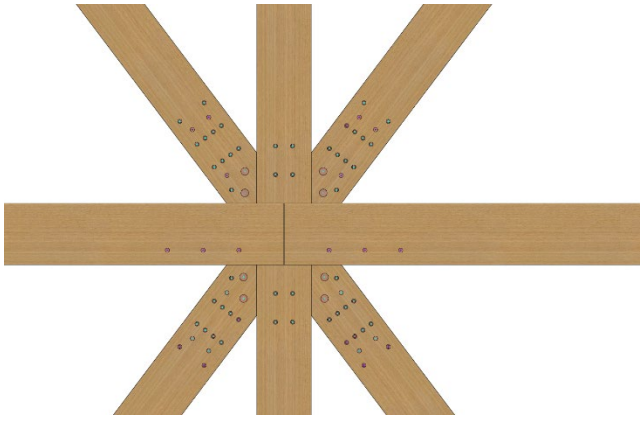
Bauherr:	Senn AG, St. Gallen
Architekt:	Herzog & de Meuron
Bauingenieur:	ZPF, Basel
Holzbau, Planung und Ausführung:	Blumer-Lehmann AG, Gossau
Stampflehm:	LTE, Schlins AT
Buchenstabholz:	Fagus Schweiz
Fensterbau:	Blumer Techno Fenster, Waldstatt

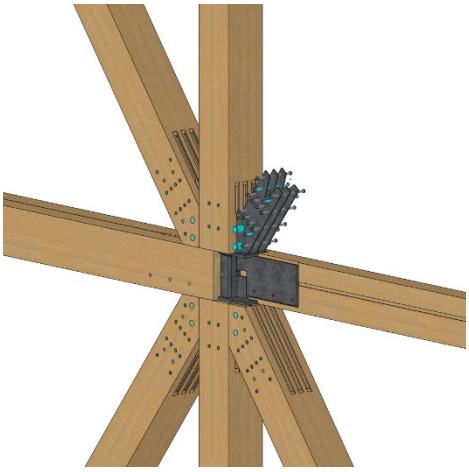
5. Impressionen vom Bau



Abbildung 10: Treppenhaus mit Brettstapel-Elementen.











Abbildungen 11: Technische Details des Holzbaus: 3D Modell (Gebäudeabmessung: 50 x 65 m), Anschlussdetails der Streben und Verbindung der Knotenpunkte, Bearbeitung der Stabbuche-Pfosten, 320 x 320 mm







Abbildungen 12: Massivholz-Doppelträger C24, 2 x 120 / 260 mm, BSP-40mm, Elemente ca. 2.8 x 5.4 m



Abbildungen 13: Montage des ersten, der fünf Geschosse und der Bodenelemente des HORTUS-Baus.



Montagestart: Oktober 2023

Hinweis: Das Copyright für sämtliche Bilder und Grafiken liegt bei der Blumer-Lehmann AG. Die Wiederverwendung ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung erlaubt.

Modulbau – neue Dimensionen

Christian Kaufmann
Kaufmann Bausysteme GmbH
Reuthe, Österreich



Modulbau – neue Dimensionen

1. Firmenportrait

Die Geschichte von **KAUFMANN** BAUSYSTEME beginnt mit Holz. Das liegt in der Natur der Sache, die im Unternehmen immer von Innovationen geprägt war. Das Ziel war damals wie heute die bestmögliche Nutzung des Werkstoffes Holz als konstruktiven Baustoff. Ganz im Sinne der Wirtschaftlichkeit und der Nachhaltigkeit. Daran hat sich nicht verändert, weil es immer mutige Menschen geben wird, die ein Stück weiter vorausdenken und vorausplanen können.

Kaufmann Bausysteme ist tätig an 3 Standorten:
- Headquarter Reuthe, Vorarlberg (AT) – Verwaltung, Planung
- Produktionsstandort Kalwang, Steiermark (AT) – 2 Fertigungslinien
- Produktionsstandort Berlin Köpenick (DE) – 1 Fertigungslinie

1.1. Fertigung der Holzraummodule & digitale Modulfertigung



Abbildung 1: Headquarter Reuthe



Abbildung 2: Produktion Kalwang



Abbildung 3: Produktion Berlin

Der Prozess von der Planung bis zur Fertigstellung hat bei **KAUFMANN** BAUSYSTEME seit gut einem Jahr eine neue Dimension erreicht – die der digitalen Modulproduktion. Mit der papierlosen Fertigung unterstützen wir unsere Holzmodul-Produktion auf dem Weg raus aus der Papierflut und hin zu digitalen Prozessen, vom ersten bis zum letzten Produktionsschritt. Diese Umstellung macht die Abläufe an unseren Produktionsstandorten in Berlin/Köpenick (D) und Kalwang/Steiermark (A) schneller, die Prozessdokumentation aktueller und das Zusammenspiel aller Beteiligten direkter. Nach einer einjährigen Testphase und über 1.000 mittels digitaler Modulproduktion hergestellten Raummodulen gehören 2D-Werkpläne in den Produktionsabläufen von KAUFMANN BAUSYSTEME der Vergangenheit an.

Wir produzieren und kommunizieren auf dem letzten Stand der Technik.
Digital. Just in time.

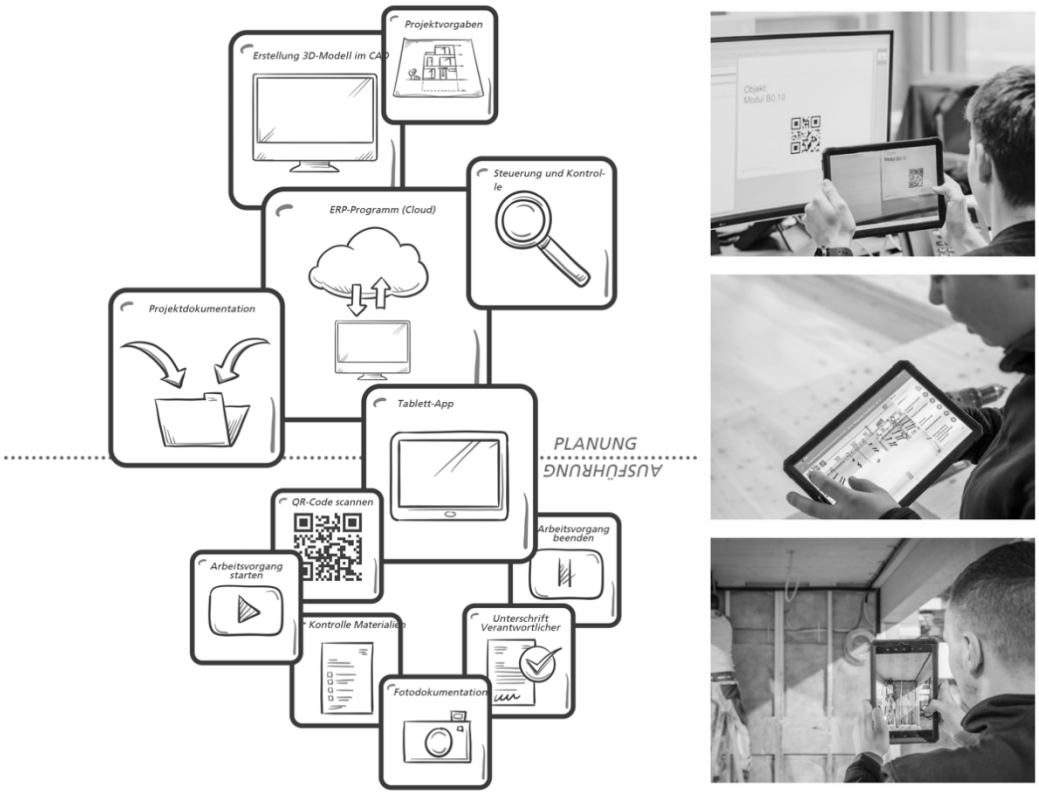
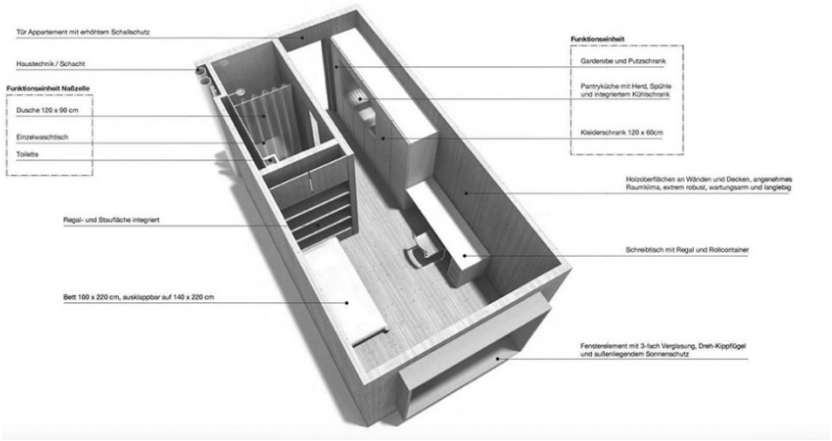


Abbildung 4: Digitale Holzraummodulproduktion, Schema

1.2. Definition Holzraummodul

Das Raummodul ist ein «vorgefertigter Raum» – Wand, Boden, Decken-Konstruktion, «Endgefertigter Raum», ausgestattet mit allen anwendungsspezifischen Funktionen.

Das Raummodul erklärt sich am besten durch die Kombination von Zeit und Kosten und liefert damit die perfekte Antwort auf die Frage, wie man schnell und kostensicher Lebens, Bildungs- und Wohnraum schaffen kann – und zwar Raum, der sowohl hohe Aufenthaltsqualität hat als auch städtebaulich nachhaltig und ökologisch sinnvoll ist.



1.3. Neue Dimensionen im Holzraummodulbau

Es sind eigentlich immer die Dimensionen, die uns als Holzspezialisten am Werkstoff Holz faszinieren. Unglaublich große Weiten oder Belastungen genauso wie außerordentlich wirtschaftliche Eigenschaften. Wir haben im Hallen- und im Hochregallagerbau die konstruktiven Möglichkeiten von Holz ausgereizt. Heute setzen wir gezielt mit dem modernen Raummodulbau sowohl auf die ökonomische Stärke als auch auf die ökologische Komponente. Ein Raummodul muss immer so gut sein, wie es wirtschaftlich ist, muss immer so individuell sein wie es adaptierbar ist und immer so schnell lieferbar sein wie es seriell produzierbar ist.

In Deutschland arbeiten wir an mehreren gesamt 37 Schul- und Office-Großprojekten. Ein anderes Ziel liegt in Rostock und umfasst einen Auftrag über 1000 Module für die Hochschule für öffentliche Verwaltung. Die Auftraggeber wollen nicht nur schnell bauen, sie wollen auch klimafreundlich bauen – wie viele Behörden und Firmen in ganz Europa. So gesehen sind unsere Raummodule gefragte Objekte in neuen Dimensionen.



Abbildung 5: Hochschule für öffentliche Verwaltung, Rostock (DE)





Ein Himmelstor aus Holz – Neuer Hangar schafft wirkungsvollen Rahmen für ein Luftschiff in Mülheim

Tobias Wiesenkämper
Ripkens Wiesenkämper Beratende Ingenieure PartGmbB
Essen, Deutschland



Falk Berling-Hoffmann
Marx Krontal Partner GmbH
Hannover, Deutschland



Ein Himmelstor aus Holz

1. Neuer Hangar schafft wirkungsvollen Rahmen für ein Luftschiff in Mülheim

«Theo», das Luftschiff der WDL Luftschiffgesellschaft mbH (WDL), ist eines von insgesamt noch sechs Luftschiffen weltweit, das als Botschafter der Metropole Ruhr auch über das Ruhrgebiet hinaus Kultstatus erreicht hat und zu Werbezwecke regelmäßig über eben dieses fliegt.
Um Wartungs- und Reparaturarbeiten durchzuführen oder es vor Witterung zu schützen, wird das Luftschiff in einem Hangar untergebracht. Dieser entsprach zuletzt nicht mehr den technischen, energetischen und funktionalen Anforderungen und so entschied sich die WDL, den bestehenden Hangar zurückzubauen, um an gleicher Stelle eine neue Multifunktionshalle errichten zu lassen. Diese sollte nicht nur dem Luftschiff seinen Platz bieten, sondern auch ca. 1.500 Personen im Rahmen von Veranstaltungen. Weil die Entscheidung zugunsten eines Neubaus ausfiel, sollte dieser zumindest möglichst nachhaltig realisiert werden, also den den Kriterien der Kreislaufwirtschaft entsprechen und hohes Recyclingpotenzial besitzen. Die Zertifizierung durch die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) war außerdem eine Prämisse der Entwurfsplanung.



Abbildung 1: Die multifunktionelle Halle wird auch für Events und repräsentative Veranstaltungen genutzt.

1.1. Funktion und Ästhetik in einem skulpturalen Bauwerk kombiniert

Der Luftschiffhangar ist in Mülheim seit jeher eine beliebte, identitätsstiftende Landmarke. Um diese zu erhalten, stellt der neue Baukörper eine Reminiszenz an den Vorgängerbau dar, nimmt die prägnante Form auf. Die runde Formgebung weckt Assoziationen an das auf dem Boden stehende Luftschiff. An die Stelle der für den Bestandsbau verwendeten Foliendächer tritt in der äußeren Gestaltung jetzt eine zeitgemäße, vollständig recyclebare Aluminiumfassade, die sich wie ein Tuch über die hölzerne Tragkonstruktion legt. Die feinen vertikalen Linien der Stehfalz-Fassade unterstreichen die klare Form und die sanften Rundungen des Bauwerks, erzeugen faszinierende Lichtreflexe und bewegende Schattenspiele. Bewusst aufgebrochen wird die Fassade durch das Fensterband, welches sich über Teile der Westseite erstreckt und die Nutzung des Baus ablesbar macht, den Innenraum belichtet und aus dem Innenraum den Blick auf das Flugfeld freigibt.



Abbildung 2: Die Aluminiumfassade legt sich wie ein Tuch über die Holzkonstruktion. Die Glasfuge lässt die Fassade nahezu schwebend erscheinen.

Um eine möglichst umweltfreundliche Bauweise zu realisieren, besteht das Primärtragwerk vollständig aus Holz. 15 gebogenen Zwei-Gelenk-Rahmen bilden die Hauptkonstruktion. Ausgeführt als aufgelöste Fachwerkkonstruktion überspannen diese eine beeindruckende Spannweite von 42 m. Das Ziel, eine sehr klare Tragwerkstruktur zu entwerfen und auf zusätzliche quer verlaufende Bauteile sowie Verbände zu verzichten, wird dabei durch die Einspannung der Obergurt- und Fachwerkdiagonalen in die Dachschale erreicht. Die druckbeanspruchten Bereiche der Untergurte werden durch diese Einspannung und ohne zusätzliche seitliche Abstützungen gehalten und stabilisiert.

1.2. Eindrucksvoll dimensioniert, wirkungsvoll inszeniert

An der Ostseite öffnet sich der Hangar über zwei hallenhohe Torflügel, die ebenfalls vollständig aus Holz bestehen. Diese gleiten auf einer viertelkreisförmigen Schiene wie ein Theatervorhang zu den Seiten und schaffen so einen wirkungsvollen Rahmen für die Inszenierung des ein- und ausfahrenden Luftschiffs. Die Toröffnung ist eine individuelle Maßanfertigung und weist somit ebenfalls bemerkenswerte Dimensionen auf: 400 m^2 Fläche pro Torflügel mit einem Eigengewicht von je 72 Tonnen werden durch vier Elektromotoren (60kW/80 PS Motorenleistung) und einem Gesamtantriebsdrehmoment von 88.000 Nm bewegt.

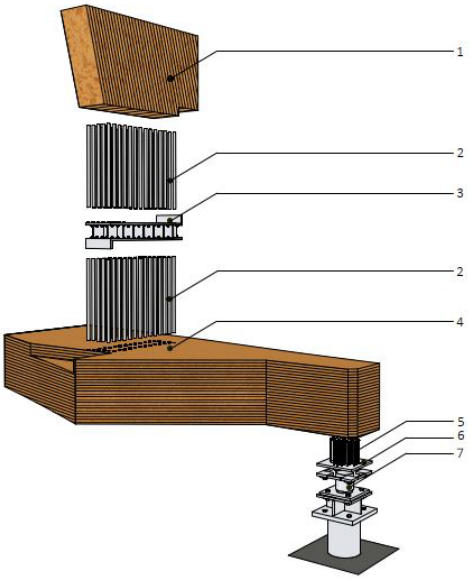




Abbildung 3: Die Torflügel gleiten auf viertelkreisförmigen Schienen zur Seite.

Abbildung 4: 400 qm Fläche pro Flügel mit einem Eigengewicht von je 72 Tonnen werden durch vier Elektromotoren bewegt.

Als besondere Schnittstelle erforderte das Tor ein Höchstmaß an Präzision und eine integrale Planung in einem interdisziplinären Team. Statisch bestimmt ist das Tor auf einem Drehpunkt und dem Fahrwerk aus zwei Radsätzen, die um den Drehpunkt herumlaufen. Dabei handelt es sich um eine grundsätzliche Entwurfsprämisse, die sich die Planer auferlegt hatten. Mit circa 1 MNm besitzen sie für den Holzbau ungewöhnlich große Anschlusskräfte. Bei der Konstruktion wurden zahlreiche Parameter wie Verformungsdifferenzen, Windlasten und Schräglaufkräfte berücksichtigt. Die biegesteifen Anschlüsse in jeder Torhälfte, welche den unten liegenden Randträger mit dem Randbinder verbinden, wurden mit eingeleimten Gewindestangen realisiert. Dabei legt sich der Binder auf den ausgestellten Fachwerkträger, der wiederum auf dem Fahrwerk aufsteht. Der Schwerpunkt des Kuppelsegments liegt auf der Verbindungslinie zwischen Drehpunkt und Mitte der beiden Räder. Die Stahlträger im Radsatz sind ballastiert, um das Auffahren des Tores bei geringen Windstärken zu ermöglichen. Pro Tor werden lediglich 90 Sekunden für das Öffnen benötigt, den ein hoher Automatisierungsgrad ermöglicht.



1. gebogener Torrandbinder, Brettschichtholz
2. eingeleimte Gewindestangen
3. Stahlformteil, geschweißt
4. gebogener Torrandträger, Brettschichtholz blockverleimt
5. Vollgewindeschrauben
6. obere Ankerplatte Drehpunkt
7. Drehpunkt (Vollgelenk) mit Stahlprofil in Fundamentköcher

Abbildung 5: Explosionszeichnung.

1.3. Zirkularität in seiner reinsten Form

Im Tragwerkskonzept wurde konsequent der Einsatz von Holz und Holzwerkstoffen verfolgt. Die über den Primärtragwerk aus Brettschichtholz liegende Dachtragschale ist aus 10 cm starken, großformatigen Brettsperrholzplatten (X-LAM) gefertigt und steift die Konstruktion aus, übernimmt Funktionen wie Schall- und Wärmeschutz. Auch wurde die sortenreine Rückbaubarkeit der gesamten Tragstruktur berücksichtigt.

Die Fachwerkträger wurden auch an den insgesamt 592 Knotenpunkten als reine Holzverbindung realisiert. Zur Kontrolle der Tragfähigkeit der reinen Holzverbindung und zur Bestätigung der Ergebnisse des entsprechend hinterlegten Rechenmodells wurden die Holzknoten an der Hochschule in Wismar geprüft. Die Holz-Holz-Holzverbindung besteht aus Brettschichtholz, Furnierschichtholz und Hartholzdübeln als Verbindungsmittel und stellt damit eine innovative Verbindungstechnik im heutigen Ingenieurholzbau dar, im Rahmen derer bestehendes Normenwerk angewendet und konsequent weiterentwickelt wurde, so dass nicht einmal eine Zulassung im Einzelfall notwendig wurde. Dabei wurden die Passverbindungen maschinell abgebunden und händisch montiert. Die Abmessungen der Halle belaufen sich auf 92 x 42 m, der höchste Punkt des Hangars misst 26 m, der Brutto-Rauminhalt beträgt 71.000 m^3.

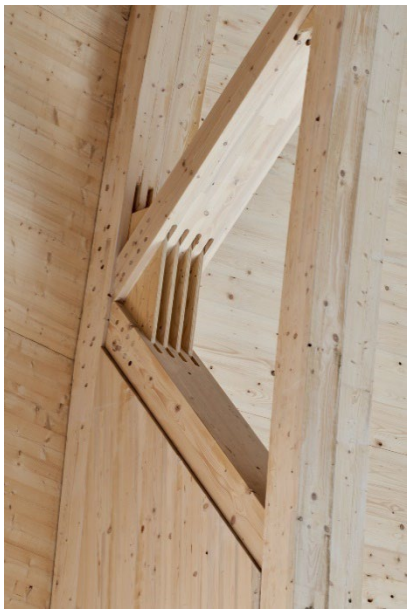


Abbildung 6: Die reine Holzkonstruktion inklusive Verbindungen aus Holz ermöglicht eine hohe Wiederverwertungsquote.

Der Ansatz der Wiederverwendung und Wiederverwertung von Baustoffen spiegelt sich außerdem in dem Punkt wider, dass die alten Fundamente vor Ort gebrochen und als Recyclingmaterial wiederverwendet wurden. Durch die gezielte Auswahl von Materialien und allein durch die Wiederverwendung von Baustoffen konnten 156 Tonnen CO_2 eingespart werden.

1.4. Kurze Planungs- und Bauphase

Möglichst wenig Zeit sollte zwischen dem Rückbau des Bestandsgebäudes und dem Wiedereinzug des Luftschiffs vergehen. Obgleich sich die Bauphase durch viel Handarbeit auszeichnete, ermöglichten der hohe Vorfertigungsgrad und die Verwendung vieler gleicher Bauteile eine schnelle Montage. An nur einem Tag wurde ein Fünftel des Hallenvolumens gerichtet. Die Planung und Kommunikation in Echtzeit auf Basis der BIM-Methodik unterstützte bei diesem anspruchsvollen Vorhaben enorm, die reine Holzbaumontage vor Ort dauerten schließlich nur 10 Wochen.

Das Projekt vereint Ingenieurbau, Architektur und Nachhaltigkeit auf eindrucksvolle Weise. Es steht für die Symbiose von Innovation und ökologischer Verantwortung und ist ein Wegweiser – nicht nur für die Region.



Abbildung 6: Obgleich der aufwendigen Handarbeit konnte die Bauzeit unter anderem durch einen hohen Vorfertigungsgrad enorm verkürzt werden.

PDX Airport: 9-acre Mass Timber Roof

Jared M. Revay
Timberlab, Inc.
Portland, Oregon, USA



2 PDX Airport: 9 acre Mass Timber Roof | J. Revay

PDX Airport: 9-acre Mass Timber Roof

1. Project Overview

The Terminal Core Redevelopment (TCORE) project at Portland International Airport (PDX) expands and modernizes the existing terminal core to meet current and future capacity needs. The project includes a mass timber and wood roof and is expected to cost about USD $2.15 billion



Figure 1: TCORE existing and new main terminal

The new design of the Portland International Airport draws on inspiration from the Pacific Northwest landscapes. The new main terminal was designed to feel like a walk through the forest.



Figure 2: Ticket lobby rendering

The centrepiece of the PDX Terminal Core Redevelopment is a 400,000 square foot timber roof that pays homage to Oregon's rich natural beauty while also highlighting its growing wood innovation sector. The lush biophilic design provides travellers with a deep connection to the forests of the Pacific Northwest.

The roof is comprised of approximately 3.3 million board feet of Douglas Fir, and features 277 80-ft glulam beams with the deepest being 9-ft and the largest single span arch being 16-ft. They are supported by large 20-ft wide x 40-ft long steel girders spaced every 100-ft on center with bucket connections for the glulam, spaced every 10-ft. The deck on top is made of 1347 2-inch mass plywood panels (MPP), serving as the roof diaphragm.

The result is a roof with rising arches and undulating edges that form domes and vaults. There are 49 large glulam framed skylights with MPP curbs. There are nearly 40,000 individually crafted sticks of 3x6 lattice on the underside of the glulam beams spaced every 1-ft on center.

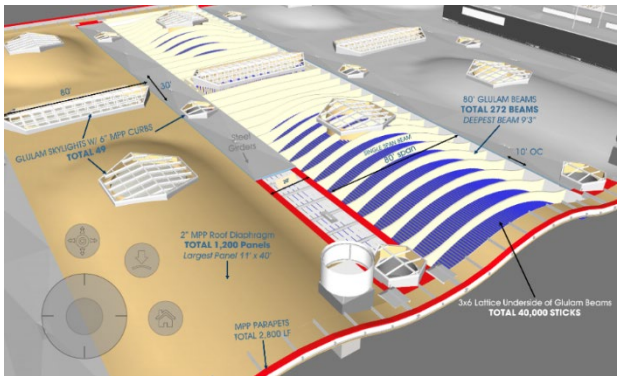


Figure 3: Rendering of roof layers

To avoid disruption to the traveling public, the new roof was built a half-mile away from the existing airport terminal at a prefabrication yard setup on the airfield. The roof will then be disassembled in 100x240 modules and assembled above the existing roof in segments.



Figure 4: A new roof is assembled on the airfield, secure side, nearly a mile away from the existing airport terminal

Sourcing timber has significant purpose to this project. The timber used on this project was sourced from a diverse array of local landowners and Pacific Northwest tribes across the region within 300 miles of the Airport.



Figure 5: Timber Procurement – Regional and Local Forests and Makers

2. Design

A stunning wood roof greets visitors upon arrival and celebrates the state's history of forest product innovation with wood locally sourced from landowners and mills within a 300-mile radius. The undulating mass plywood and glulam canopy is penetrated by skylights under 34 Y-shaped columns which hold the 18-million-lb, 400,000-sq-ft roof in place. [ZGF]

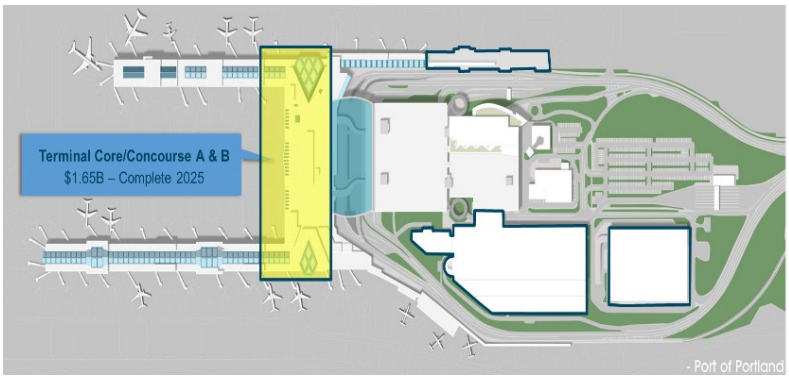


Figure 6: Portland Airport – Terminal Core Redevelopment Project

The project includes everything from remaking back-of-house operations to a completely new layout for ticketing and the lobby, but it's the new roof that will lead everyone to look up, literally. The new roof is centred over the main terminal core that will double in size compared to the existing footprint.

The complete T-Core redevelopment eliminates eight buildings that had been stitched together since 1954 to create the existing floorplate. Instead of the current 200 columns in a seismically vulnerable design, the design uses only 34 columns—half of them new and half that use existing footings—to hold the 18-million-lb, 380,000-sq-ft roof while opening 100-ft by 125-ft bays between the columns to create more operational flexibility. [ENR]

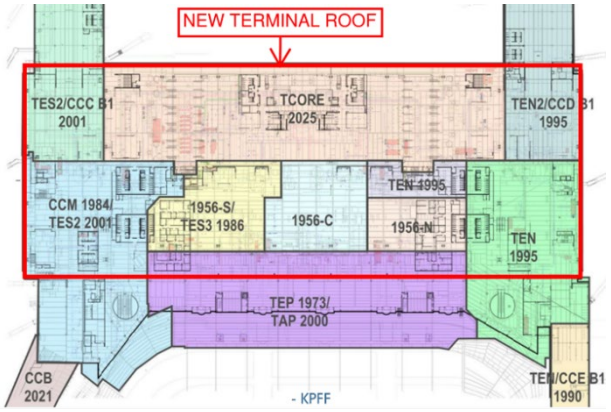


Figure 7: A terminal of past terminals



Figure 8: Existing Terminal Footprint (Left), New Terminal Footprint (Right)

The roof is not only visually unique, but also seismically different because it will be completely isolated from the existing structures below.

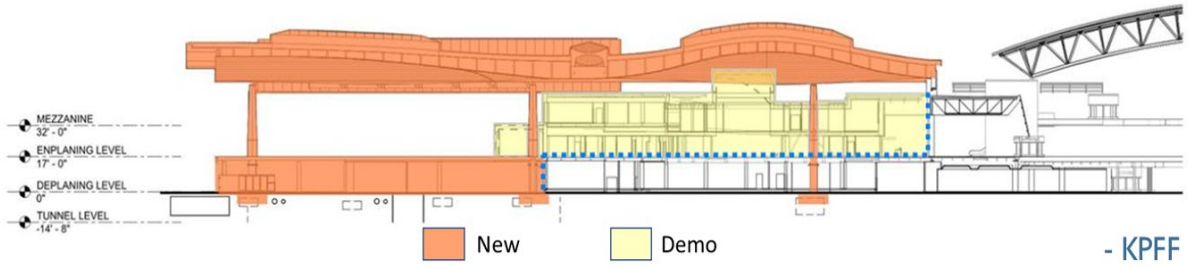


Figure 9: The new seismically isolated roof structure over the existing

The design was developed with the strategy to modularize sections of the roof to launch into place over the existing airport.



Figure 10: Modular concept: girders as «rails» infill cassettes

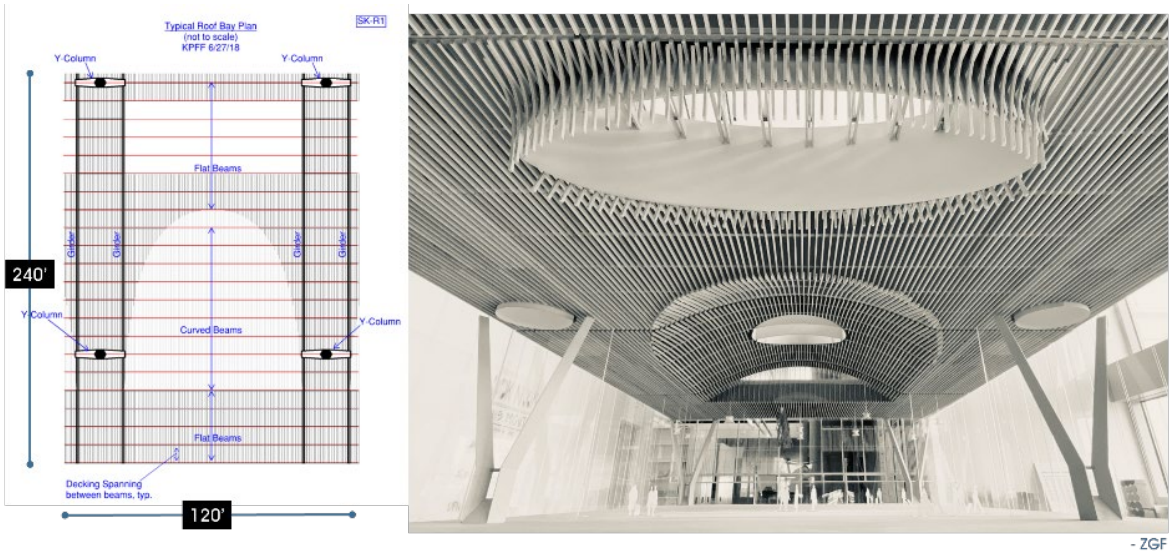


Figure 11: Kit of parts: girders + cassettes

To modularize the roof, the design developed into a kit of parts comprised of steel girders every 100’ on center with 80’ glulam beams spanning girder to girder. The final cassettes are sized as large as 120-ft wide and 240-ft long and weigh more than a million lbs.

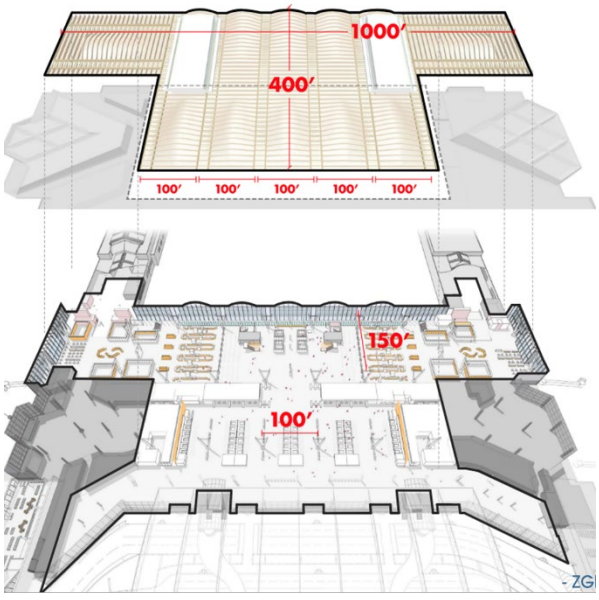


Figure 12: Module size to airport operations bird’s eye view

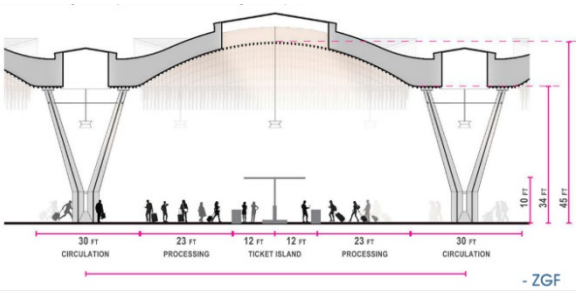


Figure 13: Module size to airport operations section view

3. Engineering

3.1. Prefab to Modular

The roof was designed so that it could be built off site, within the secure side of the airport, nearly a mile north of the terminal. Then broken into large modules and transported to the terminal where they would be slid into place resting on Y-columns with seismic isolators. The engineering around the modularization drove the glulam connection design to allow for portions of the roof to be completely unbolted from the main girders, and to rest on the temporary transport girders.



Figure 14: Drawer cassette unbolted from the main roof girders prior to transport.

The roof modules were then transported on SPMT's (Self propelled modular transport), from the prefabrication yard to their final position over the terminal, where they were slid into place. They moved at a walking pace

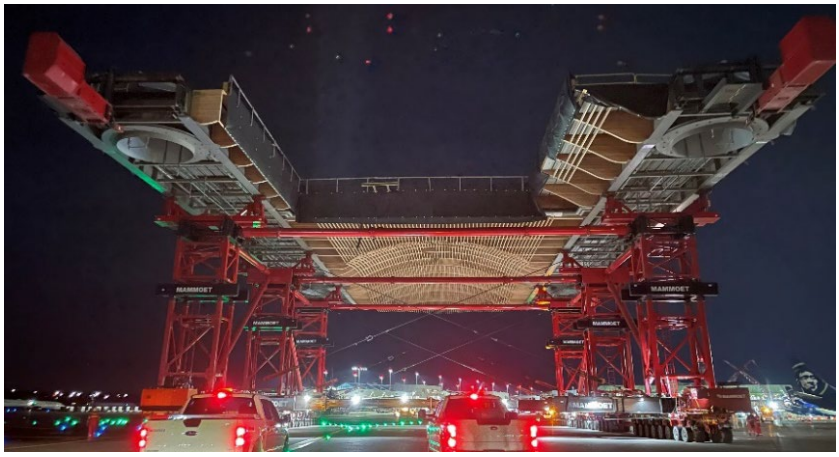


Figure 15: The 1st Mega Cassette transported from the prefabrication yard to the terminal - Aug 25, 2022

3.2. Seismic Resilience

The engineering of the primary column connection to the roof allows the roof to move up to 22 in. in any direction and the curtain wall system to move with it. To make it happen, the isolators were engineered to the top of the Y-columns. The curtain wall, which won't break during movement, has hinged connections so it can move with the roof, independent of the foundation. It took years to come up with a system that can handle the seismic requirements.

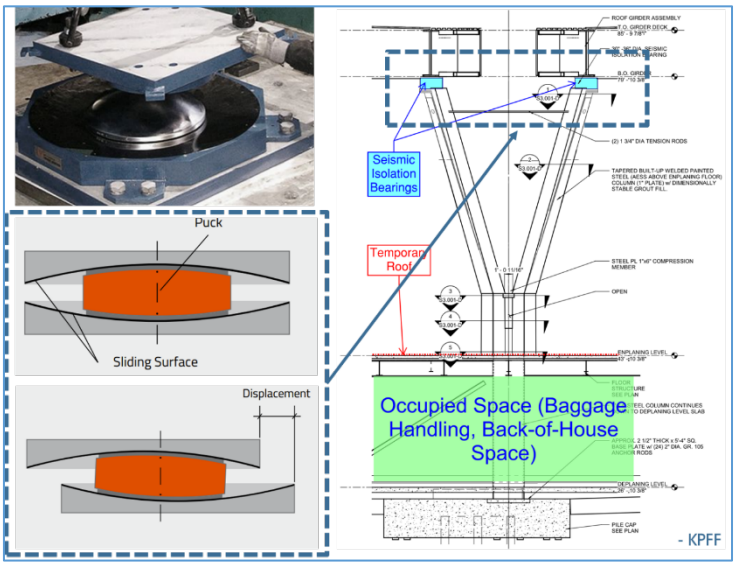


Figure 16: Y Column Seismic Isolators

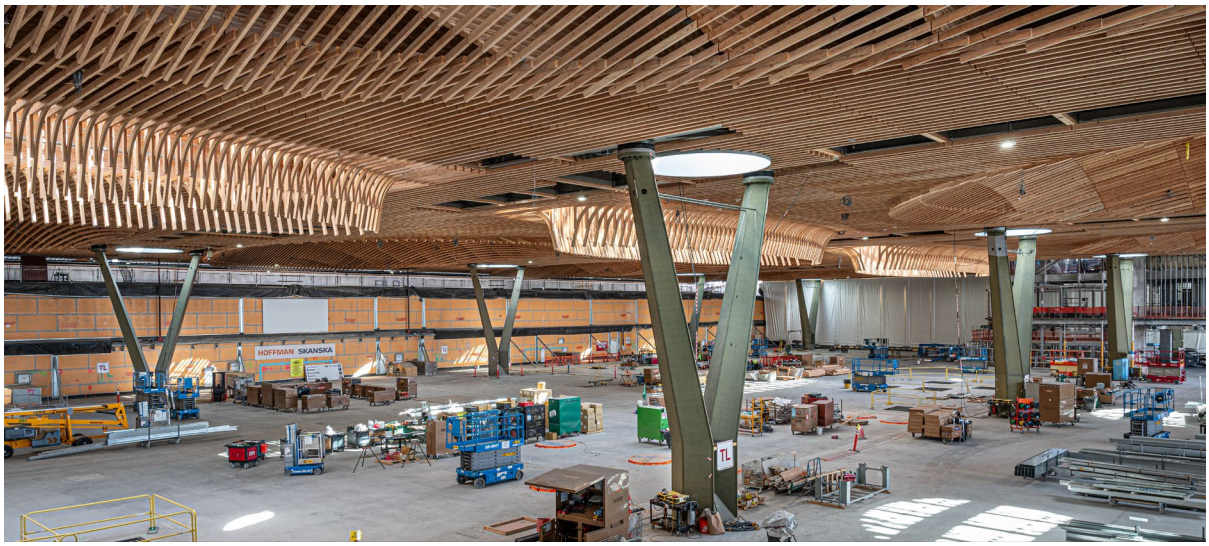


Figure 17: Y Column Seismic Isolators

3.3. Glulam End Tension/Moment Connections

There are two main types of glulam to girder connections, (1) welded connection and (2) bolted connection. Both are engineered as tension/moment connections. The connection types are driven by the modular plan to break apart the roof for transport from the prefabrication yard to the main terminal.

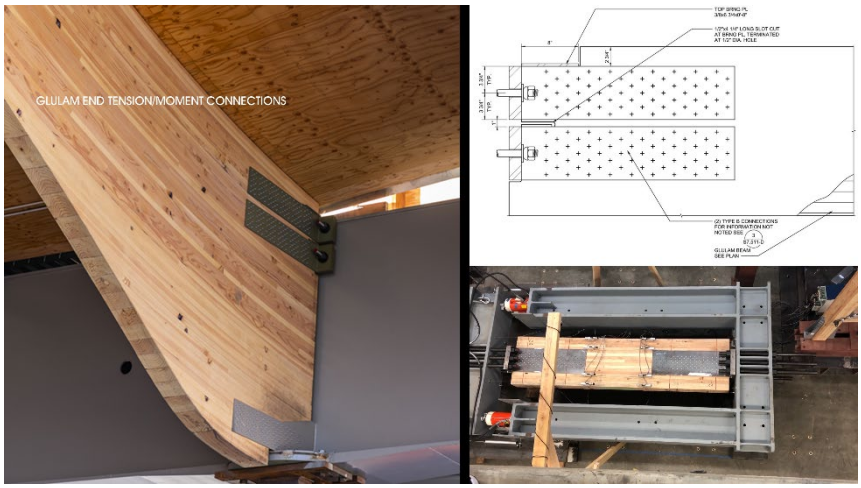
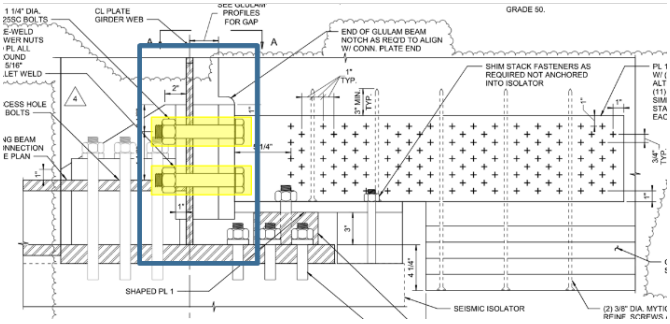
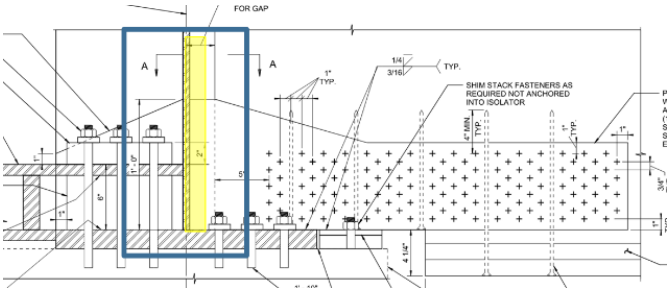


Figure 18: Glulam End Tensions/Moment Connection (Left and top right), Testing connection (Lower right).



The bolted connection is engineered for the roof's «Drawer» cassettes that would be unbolted and slid out like a drawer from the main girders during transport of the roof module, and then bolted back up to the girder once it was slid into place at the terminal side.

Figure 19: Bolted Connection at «Drawer» [KPFF]



The welded connection is engineered for the «Mega» cassettes that would transport the glulam intact with the girder(s).

Figure 20: Welded Connection at «Mega Cassette» [KPFF]

The connection evolved as the design team coordinated with the modularity puzzle.

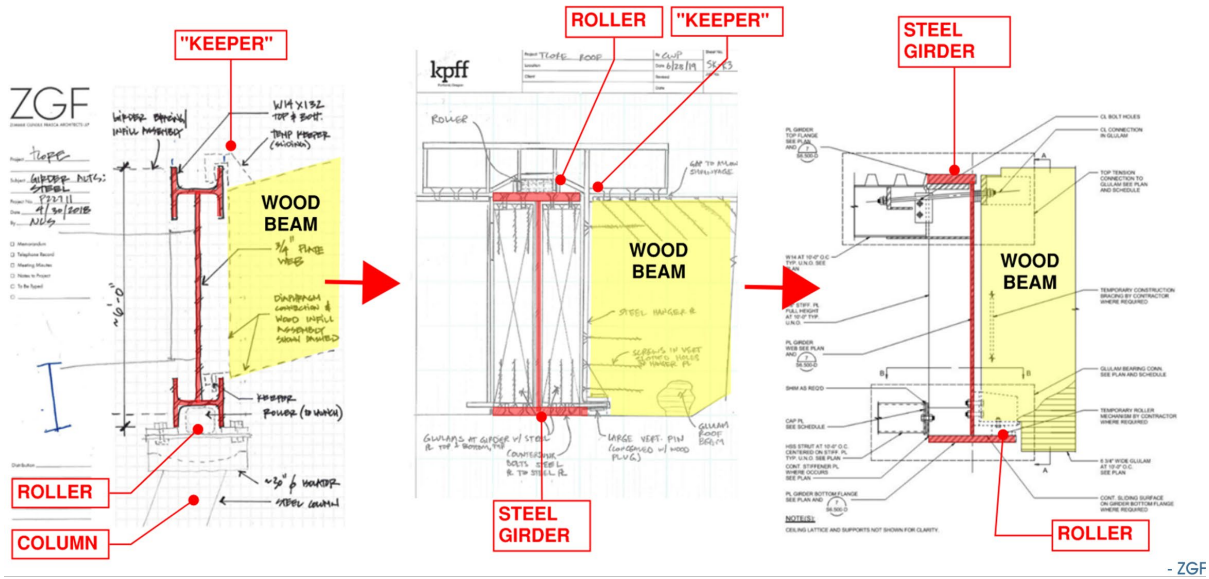


Figure 21: Evolution of the connection between girders and mass timber cassette to support modularity.

The module assembly of the overall roof is broken down into Mega cassettes and Drawers cassettes. The Mega cassette is a portion of the roof transported with girders and glulam intact. On the other hand, the Drawer cassettes separate the glulam from the main girders and are transported on temporary girders.

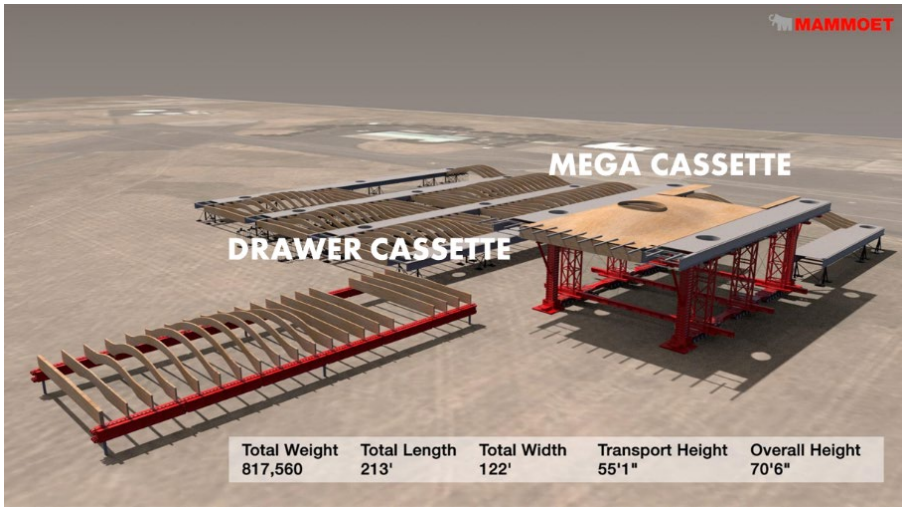


Figure 22: Roof Kit of Parts - Drawer Cassette and Mega Cassette [Mammoet]

The modular concept relies on the girders to serve as transport support rails. Overtime, the connections evolved into a bolted moment/tension connection. The final design uses the girder not only as the transport support rail supported by the SPMT's, but also uses the bottom flange as a roller track for the module to slide in and out of the overall roof.

3.4. Glulam Single Span Arch – No Splices

The glulam arches were initially designed as four separate glulam's spliced together with steel connections. This was based on initial feedback from manufacturers due to space and equipment limitations. It was through close partnerships and crucial collaboration to develop unconventional ways to overcome the limitation to produce hundreds of large-scale arched beams at a constant production pace for a year.

The result was not only a magnificent single span beam, but it brought ease to the assembly process and produced a shape that was consistently within the tight tolerance needed. The quality ensured the arched glulam beams, interfacing with the prefabricated individually shaped MPP panels on top of, and the lattice below, would precisely fit into place.

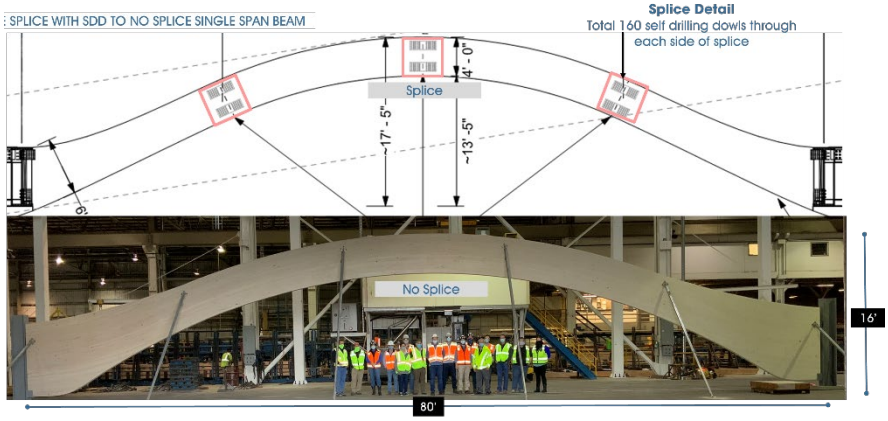


Figure 23: VE 3 splices to 0 splices as a single long span arched glulam

3.5. MPP Diaphragm

The use of MPP made it possible to efficiently shape the roof into the glulam structure. To ensure the mass plywood diaphragm could match the undulating geometry of the roof, there were full-scale mock-ups constructed to validated detailing assumptions to manufacture and fabricate accurate shapes.

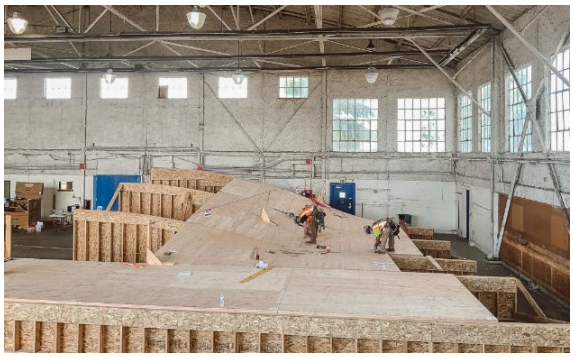


Figure 24: Full size mock up a ¼ of a roof dome representing the most complex shapes for the MPP

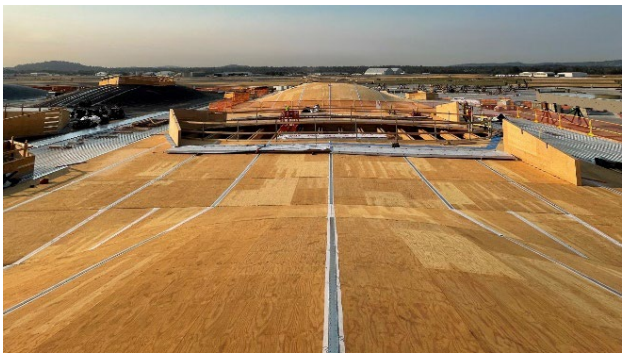


Figure 25: View from on top the MPP Roof Vault with MPP Roof Domes ahead

4. Detailing

In addition, to keep the airport in operation, the roof had to be split into 15 modules, pre-installed at a lay-down yard and reassembled at the terminal within a limited time window airport shutdown hours). Therefore, extensive Design for Manufacture and Assembly (DFMA) considerations have been applied to the project and multiple dynamic installation processes have been simulated from the digital twin in advance. [CadMakers]

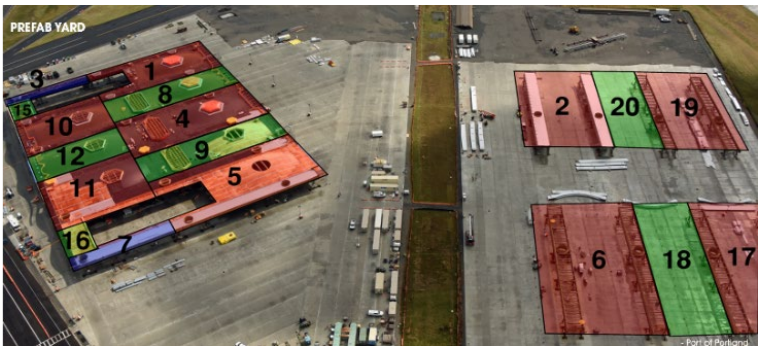


Figure 26: Prefabrication Yard – The order the modules will be removed and reinstalled over the terminal.

4.1. Curved Panels

The roof structure is a highly accurate master surface of the MPP panels following the 3-dimensional curvatures driven by the shape or the Glulam beams.

The MPP fabricator has to cut the panels flat, which means the curved roof panels had to be «flattened» into a developed shape during 3D modelling, to be fabricated and then fitted (bent) to the roof curvature during on-site construction. Studies and information on the curving of MPP panels are extremely limited.

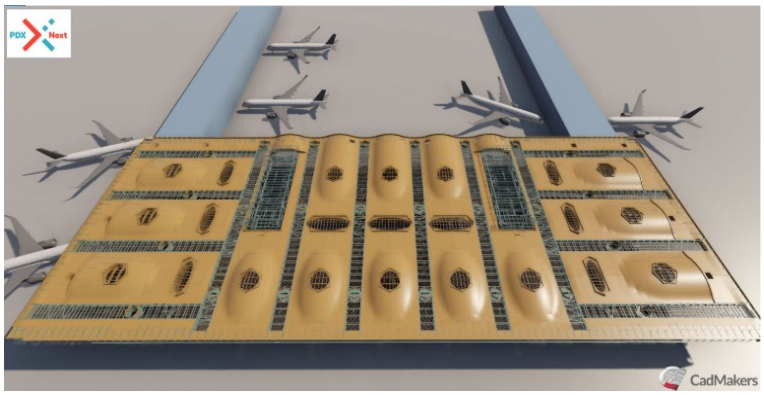


Figure 27: PDX Next Roof Structure – Birds Eye View

Several different modelling methods were used to develop the roof panels into a flat shape. Considering the potential deviation between model and reality. The process included coordination with the fabrication and installation teams to optimize and eliminate extreme curves and keep the material waste to a minimum.

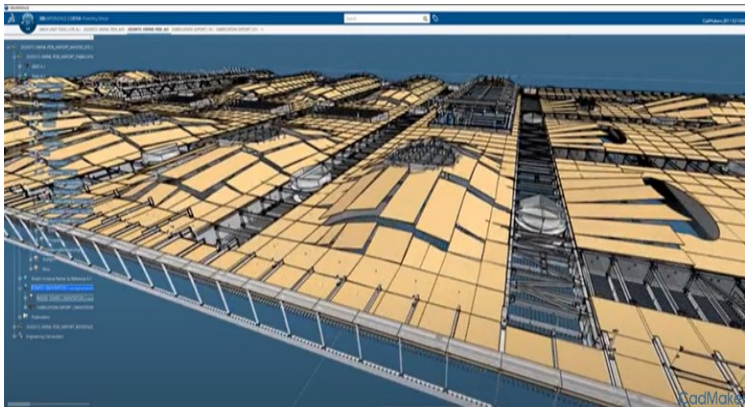


Figure 28: The curved roof panels «flattened» into a developed shape during 3D modelling.

4.2. Glulam

The glulam beams are connected to the steel frame structure which are directly supported by the main columns. The cambered beams are the main structural element that support the MPP roof panels, skylights and decorative lattice. The glulam beams have a span of 80 feet and a depth of 7.5 feet at the ends. Each beam is a continuous piece, meaning there is no splice, for aesthetic and structural reasons, which also reduces the cost of the steel hardware. In total, there are 837 glulam beams, 277 are 80-beams with 20+ different unique shapes (1684 elements).



Figure 29: Comparison Actual and 3D Model

Due to the physical properties and long span of the glulam beams, as well as the weight of the roof structure, the arch of the beam will deform slightly after being installed. As a result, each type of beam has a camber prescribed for manufacturing.

Both initial shape (for fabrication) and final installed shape (for coordination) were modelled. There was a lot of consideration needed for the pre-cambered shape, especially at the end-cut for steel bucket connections to the steel girders. The beams were then accurately manufactured and fabricated offsite, and then fitted into steel bucket end connections perfectly to have its live load start to deform to the post-camber shape. Then the MPP roof panels were installed, further adding to the post cambered shape.

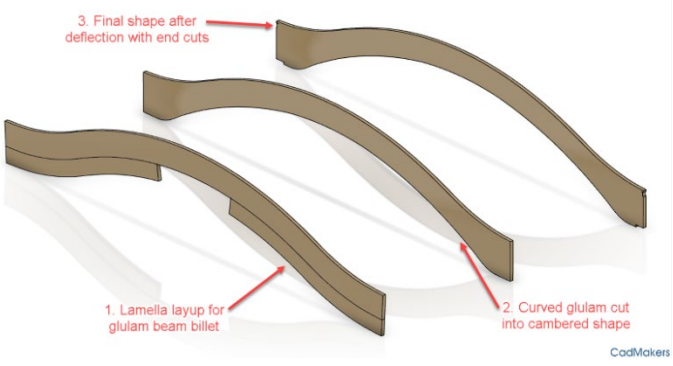


Figure 30: Development of the Glulam beam model



The wood beams and panels are closely related to the position of the steel. Regular coordination with the steel trade provided validation of all gap tolerances and potential clashes that are detectable only with a precise 3D model in such a variety of complicated situations. Coordinating with the steel 3D model helped identify constructability problems and coordinate the solutions before installation. [CadMakers]

Figure 31: Underside of a roof dome

4.3. Lattice

The nature of the lattice design following the dome shapes of the roof and its large quantities made it difficult for 2D design drawings to give the full picture. The challenge was finding all the unique conditions as they relate to each specific detail and then adapting to all the situations. To avoid any surprises and further comprehend the design intent, the strategy was to start from a virtual mock-up study with installation simulations.

The process helped identify numerous situations that were not captured in the drawing details. The findings ranged from the need to install screws at an angle with limited access for the tools (or use bevel washers) to the requirement of different angles of cross-bracing plates at each location to match the MPP roof curvature.

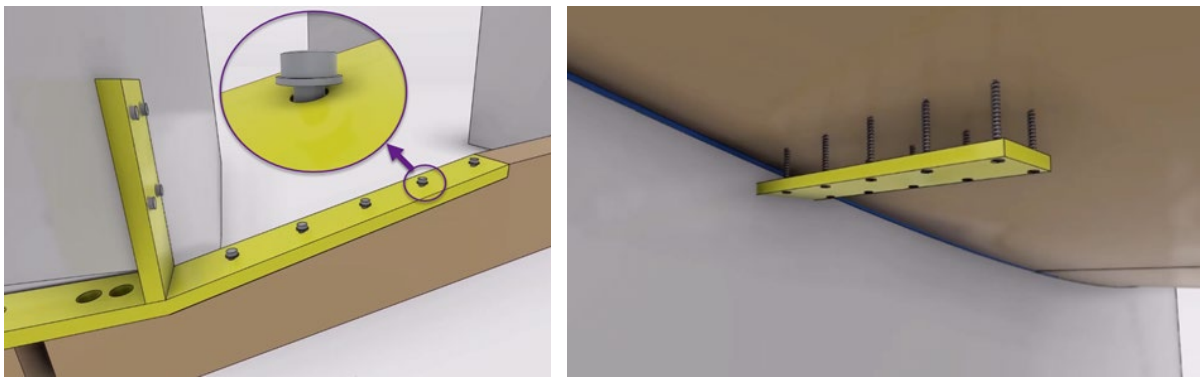


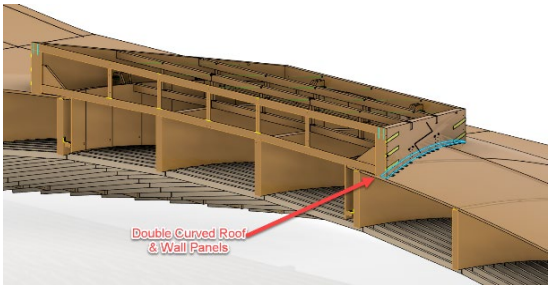
Figure 32: Installation Simulation for a virtual mock up to help identify install challenges during design stage.

The simulations were of a significant value to narrow down on-site conflicts by finding solutions prior to construction. It was greatly beneficial to the project to undergo the initial study showing what possible situations might occur was done early in the project.

Once the mock up process was complete, the integration of all the possible configurations and logics to the automation tools (30000+ lattices and countless unique situations) could be finalized. To save time and make deliverables ready ahead of deadlines, the team ran multiple computers in parallel to create critical geometry inputs (slope, start and end points), generate physical lattice, add fasteners/hardware and pre-drills, and create the cross-bracing steel all simultaneously.

4.4. Skylights

There are six types of skylights made of thousands of individual elements. The last piece of the puzzle on this project; the skylights geometry depends on the complex shapes of other structural elements (steel, glulam beams, MPP) of the roof. Installation Simulations were created for virtual mock-ups to help identify install challenges during de-sign stage.



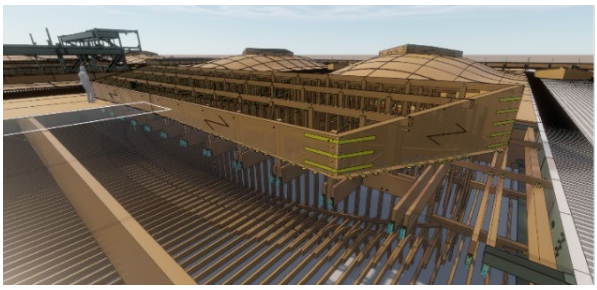


Figure 33: Installation Simulations of virtual mock ups

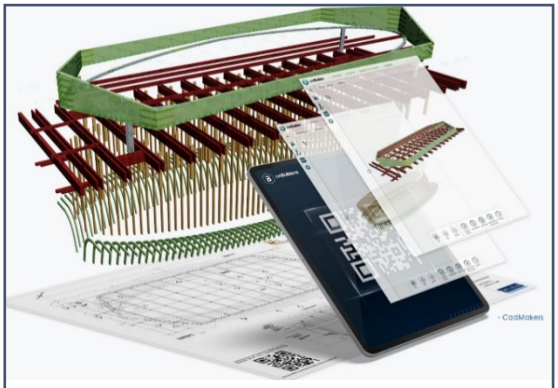


Figure 34: Access to the 3D model and installation animation of the complex sub-system via QR code

To facilitate the challenges faced by the team on site to install the complex skylights, there were high level of details (LOD) drawing sets created with QR codes that gave installers access to 3D models which included embedded installation animations.

Installation of the MPP panels at the skylight resulted in a perfect circle without site adjustments. This was an indicator of the success of the entire process; modelling, fabricating, and assembling with the precision of a high-detailed digital twin. Installation of the MPP panels at the skylight resulted in a perfect circle without site adjustments. This was an indicator of the success of the entire process; modelling, fabricating, and assembling with the precision of a high-detailed digital twin.





Figure 35: Comparison of the 3D and actual



Figure 36: Comparison of the 3D and actual

5. Sourcing

Unique in scale, the project connects 2.2 million board feet to the forests and people that grew the fiber. It stands as a North Star for what is possible when sustainable building projects intentionally incorporate positive conservation, community, and equity outcomes. The project is a tribute to the small families, Pacific Northwest Tribes, and other landowners that contributed to land stewardship and local economies across the region, within 300 miles of the airport.

The project client, Port of Portland, put forward the goal to source all the wood in a way that is better for the land and better for our local communities?

Together, the project team came up with a set of goals around sourcing:

- All the wood would come from sustainably managed forests in Oregon and Washington.
- With equity in mind, we should source from small landowners, community forests, and tribal lands all over the region.
- Just like «farm to table» cuisine, we should trace as much of the wood as possible all the way from forest to frame.



Figure 37: Paths to sourcing transparency

6. Manufacturing

The large-scale nature of the project created a unique logistics puzzle. For the manufacturing process to maintain pace with the site assembly, the manufacturing needed to start 5 months ahead of assembly start. More than half Zip-O Laminators manufacturing facility and storage were dedicated to the project for a little over a year. In addition to the space needed, the manufacturer also had set up a new area to install an arch press large enough for this project.



Figure 38: Zip-O Laminators – Manufacturing facility

The project subsequently inserted the downstream value add vendors, stain and reinforcing, into the manufacturing process, all under one roof at Zip-O. This mitigated the need for the additional handling and trucking that would have been needed under normal circumstances.

There were additional overhead cranes that needed to be installed in the facility before production would start. The additional cranes were installed just in time and made it possible to develop a new arch press, value-add, production line that could keep pace with the schedule. Manufacturing the beams in sets of 2-4 billets at a time, took approx. 7 days from start to finish.

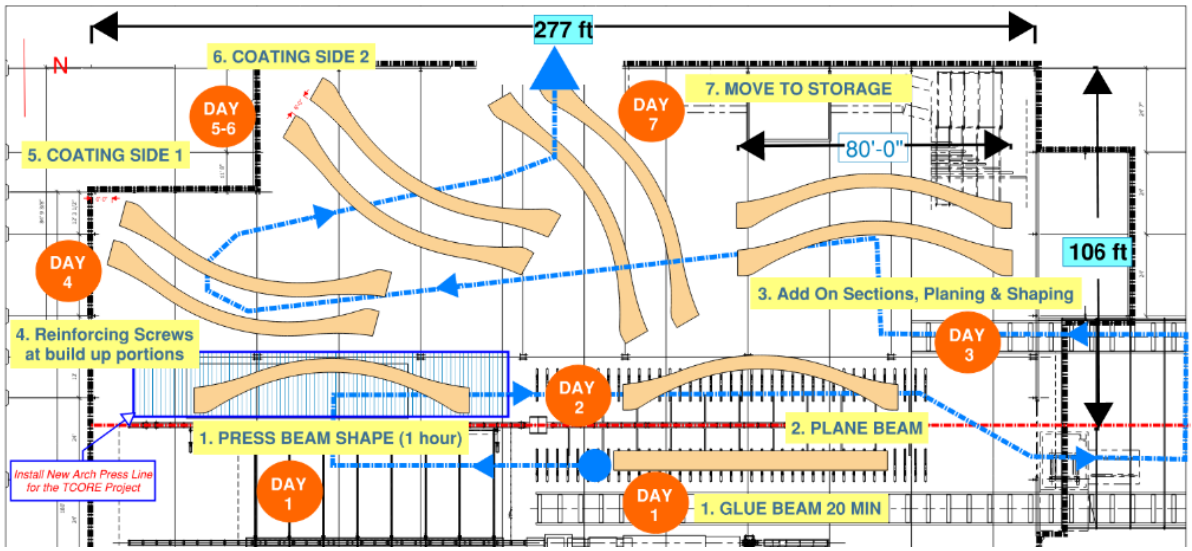


Figure 39: Manufacturing the beams in sets of 2-4 billets at a time took approx. 7 days start to finish.

For the DFMA concept to work for assembly the glulam beams needed to be accurately pressed to their shapes while maintaining very tight tolerances at any point on the arch. If done right the MPP panels will fit precisely into place on top of the glulam and lattice on the underside.

To confirm arch beam tolerances, the first beam made for each shape was point-cloud scanned and brought back into the 3D BIM model to verify its shape was within tolerance. The scanned beam was then used as the template to replicate and compare all the same shapes to. Only 2 shapes were found out of tolerance and quickly corrected.

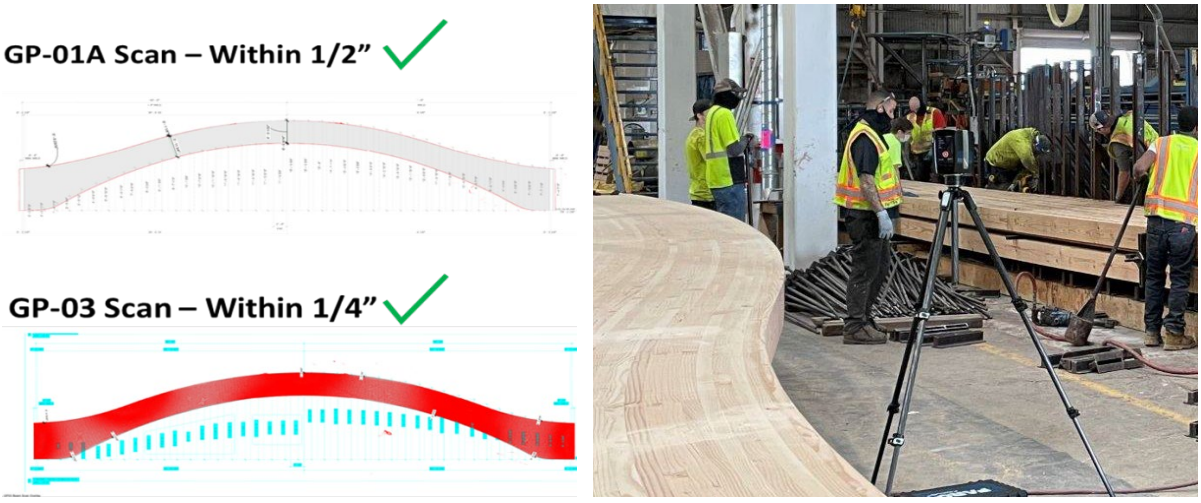


Figure 40: Results of point cloud scan overlay with digital twin (Left), Point cloud scan beam (Right).

7. Assembly

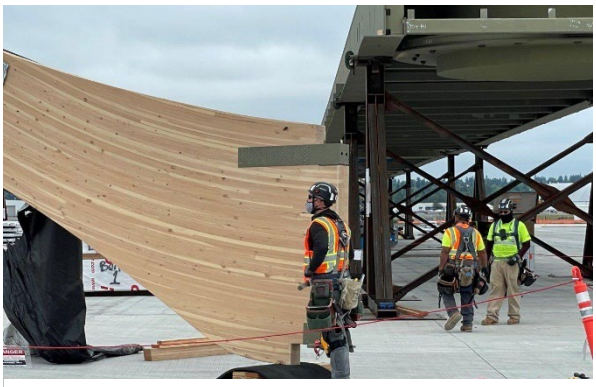


Figure 41: First beam installed – May 17, 2021



Figure 42: First beam installed – May 17, 2021



Figure 43: Assemble the skylights



Figure 44: Fasten MPP to the shape of glulam



Figure 45: Install glulam and install temp bracing

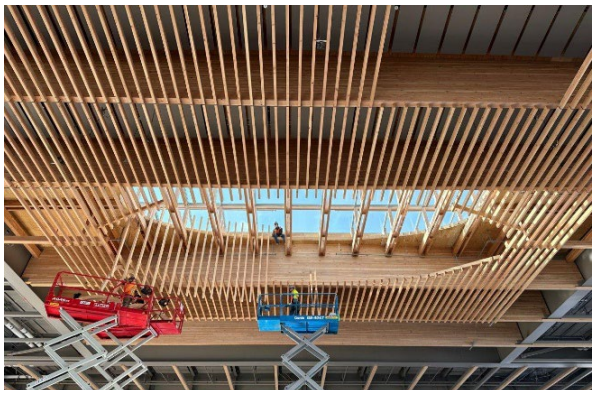


Figure 46: Install vertical and horizontal lattice

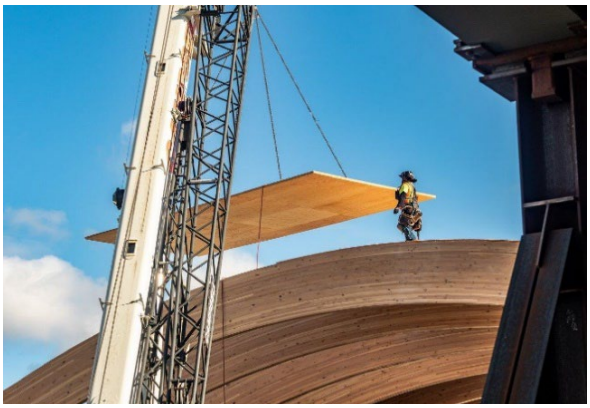


Figure 47: MPP roof panels



Figure 48: Skylight MPP lattice arches

Airport City Flughafen Luxemburg – Skypark Business Center

Dirk Berg
Steffen Holzbau S.A.
Grevenmacher, Luxemburg



2 Airport City Flughafen Luxemburg – Skypark Business Center | D. Berg

Airport City Flughafen Luxemburg – Skypark Business Center

1. Einleitung

Das Skypark Business Center in Findel, Luxemburg, ist ein architektonisch anspruchsvoller und herausstechender Bestandteil des dortigen Airport City Masterplans. Mit einer beeindruckenden Struktur aus Holz und seiner besonders nachhaltigen Ausrichtung hat es nicht nur lokale, sondern auch europäische Aufmerksamkeit erregt. Dieser Beitrag gibt einen kurzen Überblick über die baulichen sowie architektonischen Merkmale des Gebäudes, zeigt Daten und Fakten auf und geht auf die Herausforderungen für Steffen Holzbau, das ausführende Unternehmen des Holzbauteils ein.



Abbildung 1: Rendering Ansicht Gesamtgebäude (© BIG)

2. Architektur und Konstruktion

2.1. Architektonisches Design und Räumlichkeiten

Das Skypark Business Center ist weithin bekannt für sein einzigartiges und ehrgeiziges architektonisches Design. Dieses Mammutprojekt wurde in Zusammenarbeit mit dem renommierten dänischen Architekturbüro Bjarke Ingels Group (BIG) und AuCARRE für Tragwerksstatik entwickelt. Die Struktur des Gebäudes erinnert an zwei sich windende «Schlangen», die spiegelverkehrt übereinander verlaufen. Das Gebäude erstreckt sich über 365,95 m und erreicht eine Breite von 52,75 m sowie eine maximale Höhe von 30,15 m, was der am dortigen Flughafen maximal zulässigen Gebäudehöhe entspricht. Diese einzigartige Form schafft nicht nur ein ästhetisch ansprechendes Erscheinungsbild, sondern dient auch als Schallschutzwand, die den Lärm des Flughafens von den öffentlichen Räumen und anderen Gebäuden abhält. Weitere Daten und Fakten zum Gebäude finden sich in folgender Übersichtsgrafik:

Länge:

- Gebäudelänge **365,95m**
- Länge einer „Schlange“ **621m**
- Länge aller „Schlangen“ **3.615m** [Holzbau Level +1 bis Level +6]

Breite:

- Gebäudebreite **52,75m**
- Auskragung am Gebäudeende **13,50m**
- Maximale Gebäudebreite **66,25m** [inkl. Auskragung]
- Geschossbreite **16,30m** [„Schlange“]

Höhe:

- Anzahl Etagen **12 Level**
- Gebäudehöhe **30,15m**
  - Level -4 bis -1

    Stahlbetonbau Parkhaus **14,59m**
  - Level +0

    Stahlbetonbau Erdgeschoss **5,75m**
  - Level +1 bis +7

    Holzbau Obergeschosse + Dach **24,40m**

Mengen:

Holzbau	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Summen
Anzahl Holz - Stützen [Stk.]	552	332	274	**1.158 Stk.**
Anzahl Holz - Träger [Stk.]	729	475	438	**1.642 Stk.**
Anzahl CLT - Platten [Stk.]	2.809	1.938	1.960	**6707 Stk.**
BSH - pro Brücke [m³]	100	100	100	**600 m³ [6 x Brücke]**
BSH [m³]	1.224	869	825	**2.918 m³**
CLT [m³]	4.559	3.167	3.184	**10.910 m³**
CLT [m²]	21.421	14.976	14.970	**51.367 m²**
MHPL - 40mm [m³]	134	91	103	**328 m³**
∑ Holz - Gebäude [m³]	5.917	4.127	4.112	**14.156 m³**
Stahlbau				
Curved Steel Beams [to.]	70	37	44	**151 to.**
Anzahl - Curved Steel Beams [Stk.]	45	24	30	**99 Stk.**
Anzahl Brücken [Stk.]	2	2	2	**6 Stk.**
Stahl - pro Brücke [to.]	152	152	152	**912 to. [6 x Brücke]**
Stahl - Auskragung [to.]	/	/	100	**100 to.**
∑ Stahl - Gebäude [to.]	504	452	540	**1.496 to.**
Betonflächen				
HBV-Decken + Brückenböden [m²]	6.481	5.109	5.724	**17.314 m²**

Abbildung 2: Übersicht Daten und Fakten Skypark Business Center (© Steffen Holzbau)

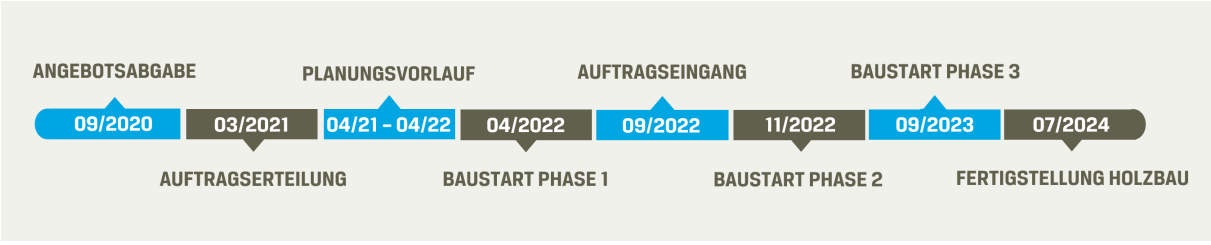


Abbildung 3: Zeitstrahl Projektablauf Skypark Business Center (© Steffen Holzbau)

In der Übersicht wird deutlich, dass das Skypark Business Center auf mehrere Etagen verteilt ist und Platz für eine breite Palette an Einrichtungen bietet. Neben Büros soll das Bauwerk nach Fertigstellung Geschäfte, Restaurants und Parkplätze für über 1500 Fahrzeuge beherbergen. Das Gebäude verfügt auch über eine Kindertagesstätte, ein Fitnesscenter und ein Hotel. Ein herausragendes Merkmal des Skypark Business Center ist die Flexibilität der Büroflächen. Die Kernfunktionen sind strategisch in den Bereichen platziert, in denen sich die beiden «Schlangen» überschneiden. Dies ermöglicht einen direkten Aufzugzugang für jeden Mieter. Die Räumlichkeiten können somit äußerst flexibel und leicht angepasst werden. Eine innere Passage, die als «Grande Galerie» bekannt ist, verbindet die einzelnen Kerne.

2.2. Nachhaltigkeit, Konstruktion und Materialien

Das Gebäude erreicht durch seine herausragende Energieeffizienz den nZEB-Status (nearly zero-energy building), zudem soll es BREEAM-zertifiziert (Lebenszyklusbewertung hinsichtlich Nachhaltigkeit) werden. Die oberen sechs Gebäudelevel – Brücken, Decken und Stützen – des Gebäudes bestehen aus europäischem Holz, während die Edelstahlfassade zu 80 Prozent aus recyceltem Metall hergestellt wird (s. Abb. 4). Ein speziell entwickeltes Niederspannungsbeleuchtungssystem (POE) sorgt für eine effiziente Beleuchtung der Innenräume und der Fassade, dies ermöglicht erhebliche Energieeinsparungen ermöglicht.

Die Energieeffizienz des Gebäudes wird durch erneuerbare Energiequellen weiter unterstrichen. Hierzu gehören Photovoltaikanlagen, die Sammlung von Regenwasser und begrünte Dächer und Terrassen (sowohl intensiv als auch extensiv). Diese Maßnahmen reduzieren nicht nur den Energieverbrauch, sondern tragen auch dazu bei, den Wärmeinseleffekt in urbanen Gebieten zu minimieren.

Das Skypark Business Center wird mit einem Mix aus nachhaltigen Materialien und innovativen Baupraktiken errichtet. Eine der bemerkenswertesten Eigenschaften ist der Einsatz von Holz in den Obergeschossen, Brücken und Decken. Insgesamt werden etwa 14.156 Kubikmeter europäisches Holz verwendet. Holz als nachwachsender Rohstoff bietet nicht nur ästhetische Vorteile, sondern trägt auch zur Reduzierung der CO_2-Emissionen bei. Die Konstruktion der Holzbauebenen ermöglicht sowohl eine lange Speicherdauer des gebundenen CO_2s im Gebäude als auch die Wiederverwendbarkeit der Holz- und Stahlelemente, was auf dem Weg zu einer nachhaltigen Zukunft in Luxemburg einen wichtigen Schritt darstellt.

Das Material der Fassadenelemente wurde mit einem chemischen Verfahren behandelt, um seinen rötlichen Kupferfarbton (s. Abb. 4) zu erhalten. Eine «doppelte» Fassade sorgt für effiziente Isolierung und einen Luftaustausch zwischen Innen- und Außenbereichen, was dazu beiträgt, dass die Innenräume gut belüftet sind und ein angenehmes Raumklima herrscht.



Abbildung 4: Ansicht der Fassade (© Thomas Urbany)

3. Herausforderungen für Steffen Holzbau

Für Steffen Holzbau als ausführendes Unternehmen für die Holzbaukonstruktion, ebenso zuständig für alle Subgewerke mit direktem Einfluss auf die Holzstruktur (Brandschutz, Akustik, ästhetischer Anspruch durch Holzverkleidung) ergaben sich im bisherigen Planungs- und Bauverlauf des Skypark Business Centers einige Herausforderungen.

Steffen Holzbau ist ein innovativer Holzbaudienstleister, der sich auf das Engineering und den Bau von maßgeschneiderten Holzbauprojekten spezialisiert hat. Als Unternehmen mit Sitz in Grevenmacher (LU), nur 15 km vom lux-Airport entfernt, und ca. 150 Mitarbeitern war das Megaprojekt bzgl. Größenordnung zu Beginn eine besondere Herausforderung. Folgende besondere Umstände sind in diesem Zusammenhang ebenfalls erwähnenswert:

- **Materialpreise**: Dadurch, dass die Preiskalkulation des Projektes bereits im Zeitraum 09/2020 stattfand, der tatsächliche Baustart jedoch erst ca. 04/2022, spielten die zwischenzeitlichen extremen Preissteigerungen u.a. durch die Corona-Pandemie sowie den Ukraine-Krieg ab 2021 eine große Rolle, die Lohnkosten bspw. waren fixiert, die Materialpreise teilweise indexiert, wodurch diese Volatilitäten in Teilen kompensiert werden konnten.
- **Flughafenumgebung**: Eine Flughafenumgebung an sich kann verschiedene besondere Umstände mit sich bringen, wie bspw. Belastung der Mitarbeiter durch Fluglärm, ein besonders raues Wetter, spezielle Sicherheitsbestimmungen, in bestimmten Bereichen erhöhter Aufwand durch entsprechende Genehmigungsverfahren, Kerosingeruch, etc.
- **Logistik**: zu Beginn der Planungsphase wurde Steffen Holzbau ein Platzangebot von 600 m² für Materiallagerungen und Logistikfläche zur Verfügung gestellt, bzw. zugestanden. Nach langen konstruktiven Diskussionen über die Umsetzbarkeit sind es mittlerweile 6.000 m² (s. Abb. 6). Denn durch eine Vorhaltung von ca. zwei Wochen Vorlauf beinahe aller zu verbauenden Materialien, um entsprechend bei Unvorhersehbarkeiten reagieren zu können und keine Verzögerungen im Baufortschritt zu riskieren, wird dieses

Platzangebot auch dringend benötigt. Zur Verarbeitung der entsprechenden Materialien sind alleine für Steffen Holzbau permanent 3 Turmdrehkräne im Einsatz, zudem 2 Gabelstapler, 2 Teleskoplader, 4 Hub-Arbeitsbühnen sowie 2 x 40 m Teleskop-Arbeitsbühnen.

- **Lieferengpässe**: Die bereits erwähnten Umstände, die zu Materialpreissteigerungen führten, haben in dieser Zeit vielerorts zu Lieferengpässen bei verschiedenen Materialien und Produkten geführt. Dank unserer langjährigen loyalen Beziehungen zu Lieferanten konnten diese Engpässe jedoch weitestgehend vermieden werden. Dies wurde auch durch ausreichenden Planungsvorläufe begünstigt, wodurch Verzögerungen vermieden werden konnten.
- **Digitalisierung**: CAD-gestützte Planung in 2D und 3D ist im Holzbaubereich keine Neuerung. Die Verteilung der aktuellsten digitalen Plansätze an alle Mitarbeiter zu jedem Zeitpunkt war nur möglich, indem sämtliche verantwortliche Mitarbeiter auf der Baustelle mit Tablets ausgestattet wurden. Ohne diese Maßnahme wäre es angesichts der Größe der Baustelle unmöglich gewesen, die Vielzahl der Pläne effizient zu handhaben.
- **Sicherheit**: Da ein Gerüst in dieser Größenordnung nicht darstellbar, bzw. bei einer vorgehängten Fassade nicht vorteilhaft wäre, wurde die Montage der Geschosse über Hub-Arbeitsbühnen auf den Holzdecken realisiert. Zudem kommen mobile Anschlagpunkte als temporäre Absturzsicherungen zum Einsatz sowie insgesamt ca. 8 km Absturzsicherungsgeländer (s. Abb. 7). Die Brückenmontagen wurden mit Hilfe von zwei 40 m hohen Teleskop-Arbeitsbühnen umgesetzt.
- **Montierbarkeit**: Die erhöhten Anforderungen an die Maßtoleranzen von +/- 2 cm (von der digitalen Geometrie des Gesamtgebäudes in allen Ebenen) erfordern eine sehr hohe Passgenauigkeit. Dadurch ist eine permanente Kontrolle der Toleranzen durch digitales Aufmaß sowohl vom Rohbau (teilweise bereits in der Schalungsphase) als auch der eigenen Montage unerlässlich. Gerade die horizontale Ausdehnung auf der Gesamtlänge von ca. 365 m durch acht Betontreppenhäuser als Fixpunkte stellt eine besondere Herausforderung dar. Zudem kommen erhöhte Anforderungen im Brettsperrholzbereich hinsichtlich der Montierbarkeit durch das «Waffelsystem» (s. Abb. 10), welches Platz für die Gebäudetechnik und Akustik bietet. Die größte Herausforderung stellte sicherlich die Montage der sechs Brücken mit bis zu 46 m spannenden Fachwerkträgern dar. Die Montage der zwölf Meter hohen Träger erfolgt in einem Bereich, der sich von 18 m bis auf eine Höhe von 30 m erstreckt (s. Abb. 8 + 9). Durch schwierige Randbedingungen der Baustelle konnte die Träger nur teilweise vorgefertigt werden, der Großteil des Fachwerkträgers wurde in Einzelteilen in der Höhe montiert.
- **Materialmix**: Die Anforderungen aus Architektur, Akustik, Brandschutz etc. führten dazu, dass neben den Holzbau ebenfalls Stahlbauteile und HBV-Decken zum Einsatz gekommen sind. Stahl wurde im Bereich der hochbelasteten Stützen, Streben, Träger und gebogene Randträger hauptsächlich zur Einhaltung der architektonisch vorgegebenen Querschnitte (Höhen) gewählt. Die Stahlmontage wurde nach EXC 3 durchgeführt. Durch eine Brandschutz- und Holzverkleidung wurden die Dimensionen der Stahlprofile an das Holztragwerk angeglichen. Die HBV-Decken wurden über die gesamte Dachfläche aus akustischen, sowie statischen Gründen eingesetzt. Für die HBV-Decken war seitens Steffen Holzbau ein erhöhter Unterstützungsaufwand durch äußere Schalarbeiten, Abstützungen und Schrägverschraubungen gefragt. Im Bereich der Brückenböden wurde eine Stahl-Beton-Verbunddecke mittels Omega-Profilblechen realisiert.
- **Wetterschutz (Wasserhaltung)**: Durch Einsatz von Beton im Bereich der Dachflächen entsteht eine verlängerte Bauzeit von ca. 2 Monate. Dies aufgrund der Aushärtezeit, sowie der vorbereitenden Arbeiten wie Bewehrung, Abstützung, Schalarbeiten. Auf Grund dessen konnten Folgegewerke wie beispielweise Fassadenarbeiten nicht begonnen werden. Durch die besondere Form der Holz-Deckenkonstruktion in Kombination mit dem Standort Flughafen, an dem ein überwiegend horizontaler Regen zu verhältnismäßig großen Mengen Wasser auf den Deckenkonstruktionen führt, waren vollflächig aufgeklebte Wetterschutzbahnen notwendig. Ebenfalls wurde eine spezielle Sprühfolie in den Übergangsbereichen zu den Betonflächen verwendet. Diese haben den Vorteil, dass sie gleichzeitig als rauchdichte Schicht und Trennlage für Estrich dient.

Des Weiteren mussten die tiefergelegenen CLT-Decken separiert entwässert werden. Die Holzstützen wurden ebenfalls mit einer wetterschützenden Folie eingekleidet, die nach Schließen der Fassade wieder entfernt werden muss.

- **Akustik**: Um die Vorgaben im Bereich Akustik zu erreichen wurde der Einsatz eines Spezialestrichs (Leichtbeton) gewählt (s. Abb. 11). Dieser weist lediglich eine Dicke von 4 cm sowie ein Gewicht von 1.000 kg/m³ auf und folgt dem «Waffelsystem» der Deckenkonstruktionen. Zudem erfüllt er die Oberflächenanforderungen für den folgenden Doppelboden.
- **Brandschutz**: Durch ein Überdecken der innenliegenden Stahlanschlussteile mittels 7 cm Holzquerschnitt sowie ein Verkleiden der Stahl-Träger, -Stützen, -Streben und gebogenen Randträger mit 20 mm Brandschutzplatten konnten die Vorgaben hinsichtlich des Brandschutzes erfüllt werden.
- **Projektbeteiligte**: Die Größe des Projektes erfordert die konstruktive Zusammenarbeit mit einer Vielzahl an Gewerken und Ansprechpartnern.

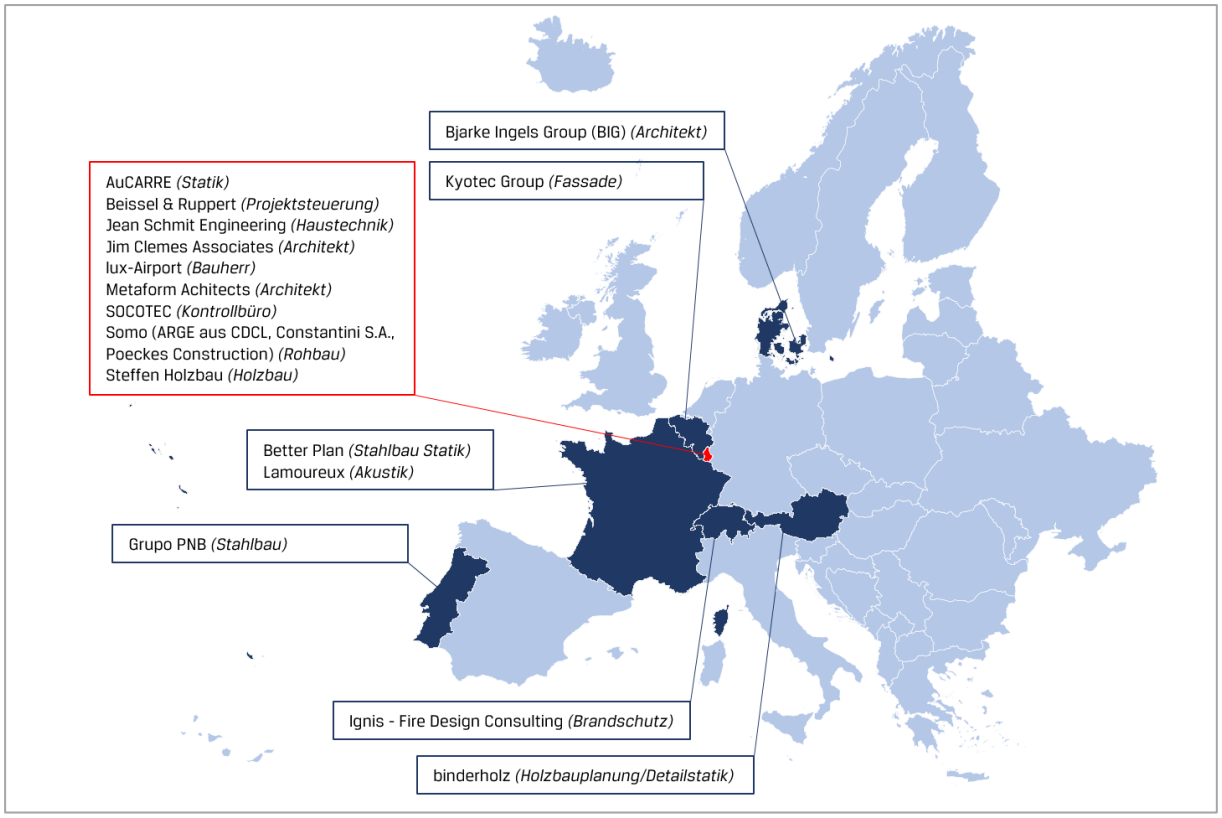


Abbildung 5: Hauptansprechpartnerunternehmen von Steffen Holzbau (© Steffen Holzbau)

- **Vorfinanzierung**: Durch konsequente Skontozahlungen an die Materiallieferanten und Subunternehmer mussten erhebliche Summen vorfinanziert werden.



Abbildung 6: Logistische Herausforderungen (© Thomas Urbany)



Abbildung 7: Außenrandbegrenzungen durch Absturzsicherungsgeländer (© Thomas Urbany)



Abbildung 8: Montierbarkeit der Brücken (© Thomas Urbany)

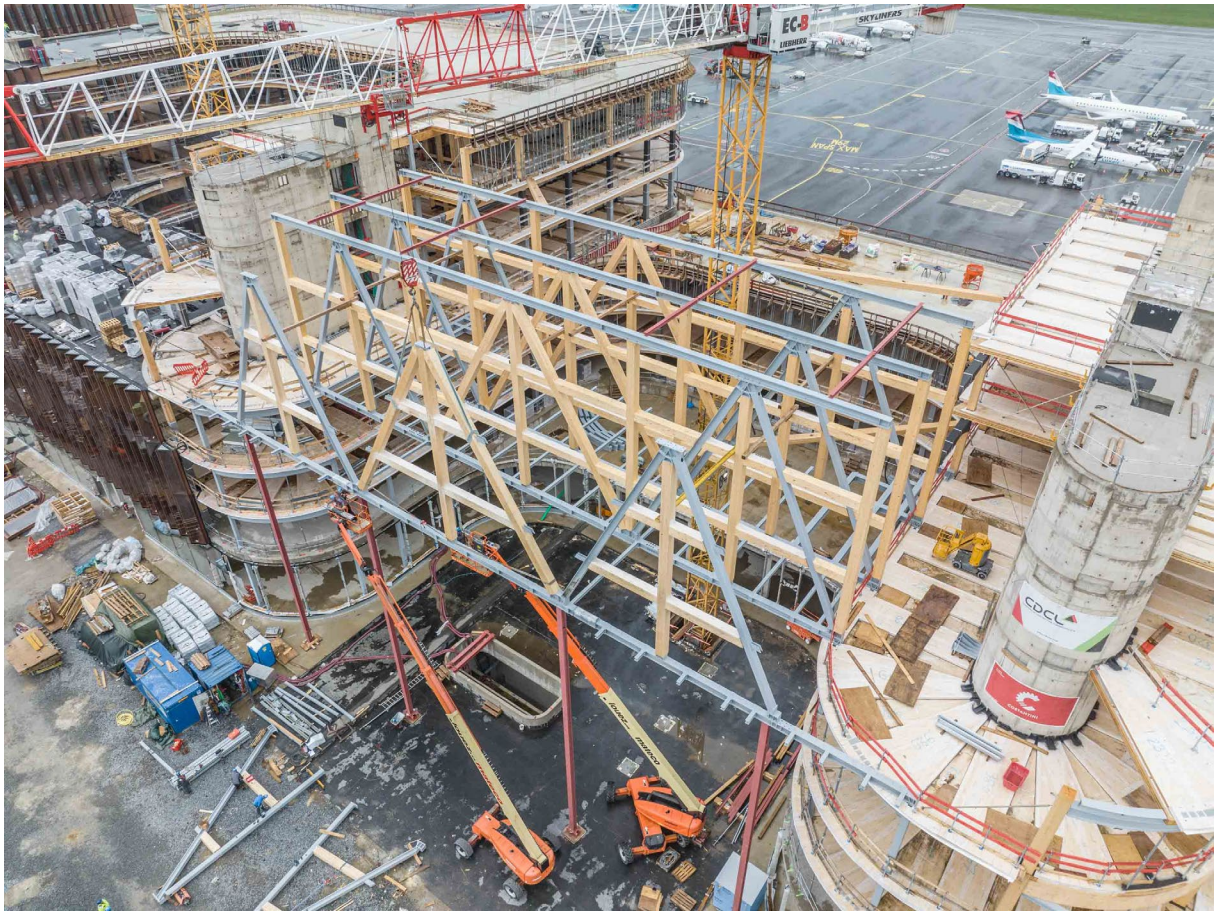


Abbildung 9: Montierbarkeit der Brücken (© Thomas Urbany)



Abbildung 10: «Waffelsystem" der Decke (© Thomas Urbany)



Abbildung 11: Spezialestrich (© Thomas Urbany)

Holzbauentwicklung

Eurocode 5 – Was wird sich ändern, was ist neu?

Biobasierte Holzklebstoffe und
CO_2-optimierte Holzwerkstoffe

Klebetechnik

Die Evolution des Eurocode 5 – ein Überblick mit Schwerpunkt DIN EN 1995-1-1

auf Grundlage eines Artikels von
Martin Schenk[1], Norman Werther[1], Matthias Gerold[2],

Abbildung 1: Europäische Bemessungsnormen – Eurocodes – erarbeitet in CEN/TC250
Quelle: Europäische Kommission, 2021

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter
Technische Universität München,
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
München, Deutschland



1 TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
2 Harrer Ingenieure Gesellschaft Beratender Ingenieure VBI mbH, Karlsruhe

Die Evolution des Eurocode 5 – ein Überblick mit Schwerpunkt DIN EN 1995-1-1

1. Einleitung

1.1. Vorbemerkung

Dieser Beitrag ist eine umfassend überarbeitete Fassung des Artikels der oben genannten Autoren aus der Zeitschrift Holzbau – die neue quadriga 6/2021. Den Kollegen sei für die Vor- und Mitarbeit sehr herzlich gedankt.

1.2. Aktuelle Situation

Der Eurocode 5 (EC 5) wurde als Bemessungsnorm EN 1995 – «Bemessung und Konstruktion von Holzbauten» 2004 in Europa erstmalig veröffentlicht und mit den Ausgaben 2010 zusammen mit den zugehörigen nationalen Anhängen in Deutschland als technische Baubestimmung eingeführt.
Ziel der Bearbeitung im europäischen Rahmen war es, die unterschiedlichen oder gar fehlenden Richtlinien für die Bemessung von Holzbauten in den Mitgliedsstaaten des Europäischen Normungskomitees (CEN) durch ein gemeinsames technisches Regelwerk mit gleichem Sicherheitsniveau zu ersetzen und so Barrieren innerhalb Europas weiter zu minimieren. Die unmittelbare deutsche Vorgängernorm war DIN 1052:2008-10, die bereits erstmalig das semi-probabilistische Bemessungskonzept umgesetzt hat.
Die Normenreihe EN 1995 «Bemessung und Konstruktion von Holzbauten» ist mit aktuellem Stand in drei Teile untergliedert:

- Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- Teil 2: Brücken

Um die Anpassung der Eurocodes and den Stand der Technik zu gewährleisten und damit die stetigen technischen Entwicklungen und Erkenntnisgewinne abzubilden, erteilte die Europäische Kommission 2012 das Mandat M/515 zur Erarbeitung einer zweiten Generation dieser Normenreihe.
Im Bereich des Holzbaus erfolgt die Überarbeitung im Unterkomitee (SC) CEN/TC 250 SC 5. Dazu wurden seit 2015 sechs Expertengruppen (project teams) berufen, die für spezifische Themenbereiche im Holzbau Normungsentwürfe erarbeiteten. Zehn Arbeitsgruppen (working groups), welche die thematische Fortentwicklung des Eurocode 5 begleiten, führen aktuell diese Arbeit in Zusammenarbeit und Abstimmung mit den nationalen Normungsgremien fort, vgl. Abbildung 2. Zu Beginn des Jahres 2023 wurden nun die Entwürfe für die erste formelle Umfrage (formal enquiry) abgegeben. Es folgt im Jahr 2023 eine Übersetzungsphase, um die Entwürfe in den drei Amtssprachen der Europäischen Union verfügbar zu machen. Die formelle Umfrage wird im Herbst 2023 gestartet und endet im Januar 2024.
Im Jahr 2025 erfolgt nach Bearbeitung und Einarbeitung der eingehenden Kommentare die sogenannte formelle Abstimmung (formal vote). Danach wird die Normenreihe des neuen Eurocode 5 in allen Mitgliedsstaaten nach umfassender Überarbeitung und Erweiterung erhältlich sein.
Dieser Beitrag enthält einen Ausblick auf die Inhalte und Unterschiede im Vergleich zur bisherigen Normengeneration. Der Schwerpunkt liegt nach einem allgemeinen Überblick auf EN 1995-1-1, also den allgemeinen Bemessungsregeln. Holzbetonverbundbauteile und die Brandschutzbemessung werden im Rahmen dieser Tagung von den Kollegen Jörg Schänzlin sowie Björn Kampmeier und Dirk Hollmann vorgestellt.

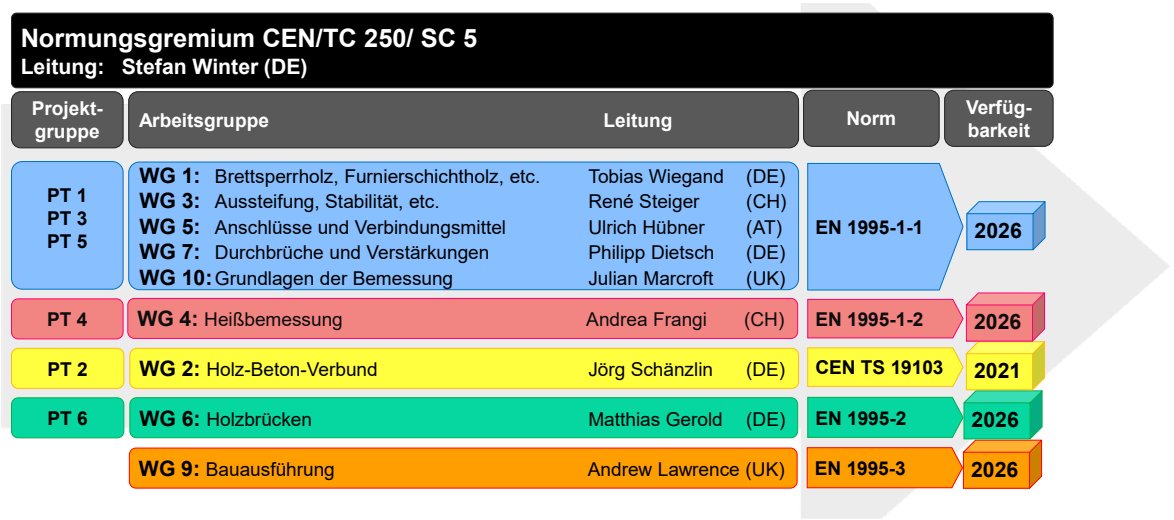


Abbildung 2: Die Projektteams (PT) und Arbeitsgruppen (WG) des Normungsgremiums CEN/TC 250/SC 5 – nicht enthalten ist WG 8 Erdbebenbemessung (joint WG mit EC 8)

Besonders ist ein weiterer neuer Teil des Eurocode 5 zu erwähnen, der in der Arbeitsgruppe WG 9 Execution bearbeitet wird. Hier werden die Ausführungsregeln für Holzbauwerke zusammengefasst, da auf Grundlage einer Vereinbarung in CEN/TC 250 in den Bemessungsteilen selbst keine derartigen Regeln mehr enthalten sein sollen. In der bisherigen Fassung von EN 1995-1-1 waren einige dieser Regeln im Abschnitt 10 enthalten. In anderen Normungsbereichen wie dem Stahlbau existieren ebenfalls Ausführungsregeln außerhalb der Eurocodes, z.B. EN 1090 zur Ausführung von Stahltragwerken. Da im Bereich des Holzbaus kein anderes Normungskomitee zur Bearbeitung zur Verfügung steht, wurde nach langen Diskussionen vereinbart, die Ausführungsregeln in CEN/TC 250 SC5 zu erarbeiten und als weiteren Normungsteil EN 1995-3 zukünftig zu veröffentlichen.

Die Holz-Beton-Verbund Bauweise wurde in einem vorgezogenen Normenverfahren als Technische Spezifikation (Technical Specification (CEN/TS 19103)) bereits 2021 zur Erprobung veröffentlicht und soll zukünftig als EN 1995-1-3 ebenfalls in die Gesamtreihe des Eurocode 5 überführt werden, die dann in der zweiten Generation also insgesamt fünf Teile umfassen wird.

Einen ersten Überblick zu den Veränderungen bei den bestehenden Teilen ermöglicht der Vergleich der alten und neuen Normenstruktur, siehe Tabelle 1. Eine Veränderung der Kapitelnummerierungen ergab sich unter anderem aus der Anpassung aller Eurocode Teile in der Gliederung der ersten zehn Kapitel, um Werkstoff übergreifend die Arbeit mit den Eurocodes zu erleichtern.

Tab. 1: Vergleich der Inhaltsverzeichnisse neue und alte Holzbaunorm
(Kaltbemessung: prEN 1995-1-1, Heißbemessung: prEN 1995-1-2 und Brücken: prEN 1995-2)

EN 1995-1-1:2004	**prEN 1995-1-1:2027**
1. Allgemeines	1. Allgemeines
	2. Normative Verweise
	3. Begriffe, Definitionen und Symbole
2. Grundlagen der Bemessung	4. Grundlagen der Bemessung
3. Baustoffeigenschaften	5. Baustoffeigenschaften
4. Dauerhaftigkeit	6. Dauerhaftigkeit
5. Grundlagen der Berechnung	7. Grundlagen der Berechnung
6. Grenzzustand der Tragfähigkeit	8. Grenzzustand der Tragfähigkeit
7. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	9. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
	10. Ermüdung
8. Verbindungen mit metallischen Verbindungsmitteln	11. Anschlüsse und Verbindungsmittel
9. Zusammengesetzte Bauteile und Tragwerke	12. Zusammengesetzte Bauteile und Tragwerke
	13. Dach-, Decken- und Wandscheiben
10. Ausführung und Überwachung	
	14. Gründung mit Holzpfählen

EN 1995-1-2:2004	**prEN 1995-1-2:2027**
1. Allgemeines	1. Allgemeines
	2. Normative Verweise
	3. Begriffe, Definitionen und Symbole
2. Grundlagen der Bemessung	4. Grundlagen der Bemessung
3. Baustoffeigenschaften	5. Baustoffeigenschaften
4. Bemessungsverfahren für mechanische Beanspruchbarkeit	6. Tabellierte Nachweise
5. Bemessungsverfahren für Wand- und Deckenkonstruktionen	7. Vereinfachte Bemessungsverfahren
	8. Genauere Bemessungsverfahren
6. Verbindungen	9. Verbindungen
7. Konstruktive Ausführung	10. Ausführung von Details
Anhang A - F	Anhang A, B, C, D, E, F, G, I, M, T

EN 1995-2:2004	**prEN 1995-2:2027**
1. Allgemeines	1. Allgemeines
	2. Normative Verweise
	3. Begriffe, Definitionen und Symbole
2. Grundlagen für die Bemessung und Konstruktion	4. Grundlagen der Bemessung
3. Baustoffe	5. Baustoffe
4. Dauerhaftigkeit	6. Dauerhaftigkeit
5. Grundlagen der Berechnung	7. Grundlagen der Berechnung
6. Grenzzustand der Tragfähigkeit	8. Grenzzustand der Tragfähigkeit
7. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	9. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
	10. Ermüdung
8. Verbindungen	11. Anschlüsse und Verbindungsmittel
9. Ausführung und Überwachung	
Anhang A. Ermüdungsnachweis	
Anhang B: Durch Fußgänger verursachte Schwingungen	

2. Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau

Ziel der Überarbeitung der Bemessungsnormen ist die Anpassung der Normung an den aktuellen Stand der Technik. Zielgruppe sind dabei ausgebildete Bauingenieur:innen mit einer dreijährigen Berufserfahrung. Die Normen werden also nicht für Laien geschrieben, sondern für gut ausgebildete Experten.
Den Diskussionen der Vergangenheit und Anmerkungen der Anwender folgend legte das Europäische Normungsinstitut (CEN) für die zweite Generation der Eurocodes den «ease of use», also die Praxistauglichkeit und verbesserte Anwendbarkeit als eines der umzusetzenden Kernziele innerhalb der neuen Normenreihe fest. Dies umfasste eine

- verbesserte Struktur und Eindeutigkeit;
- klarere Verknüpfungen und Angleichung national festgelegter Parameter (NDP, national determined parameters);
- Reduktion von alternativen gleichwertigen Anwendungsregeln und Verfahren;
- Streichung von Regelungen mit geringer Anwendung;
- Erläuterung des mechanischen Hintergrunds von Formeln.

Zu Beginn der Überarbeitung der Eurocodes wurde zusätzlich teilweise die Erwartung geäußert, dass die «Vereinfachung» eben auch eine Reduktion der Seitenzahl bedeuten «muss!» Aber ist das gerade im Holzbau realistisch?
In kaum einer Branche hat sich auf Produktebene seit der Einführung der Europäischen Bemessungsnormen vor gut 20 Jahren so viel bewegt wie im Holzbau. Und in kaum einer Branche haben sich die Bauaufgaben dermaßen ausgeweitet, von vielgeschossigem Wohnungs- und Hotelbau in Modulbauweise bis hin zum Bau von Hochhäusern aus Holz. All das war beim Start der Erarbeitung der ersten Generation der Eurocodes noch in weiter Ferne.

Dem aktuellen Stand der Technik entsprechend werden daher Materialien und Werkstoffe wie Brettsperrholz, Furnierschichtholz oder Hartholzprodukte in EN 1995-1-1 umfassend in Abschnitt 4 – Baustoffeigenschaften – der neuen Bemessungsnorm aufgenommen. Ergänzend werden im Anhang M alle Eigenschaften der der jeweiligen Baustoffe angegeben, die für die Bemessung nach EN 1995-1-1 erforderlich sind. Diese Auflistung dient als Grundlage für Ausschreibungen, um hier die erforderlichen Leistungseigenschaften angeben zu können und sie wird für die Erarbeitung der neuen Mandate für die europäischen harmonisierten technischen Spezifikationen der Bauprodukte verwendet, also entweder für Normungsmandate (standardization request) der Europäischen Kommission an CEN im Rahmen der Bauproduktenverordnung oder für Europäische Technische Bewertungsdokumente (EAD) als Grundlage von Europäisch Technischen Zulassungen (ETA), die im Rahmen von EOTA bearbeitet werden. Der Anhang M soll ebenfalls den «Ease-of-use» unterstützen, um den erforderlichen Nachweis «was geplant wurde, wird auch gebaut» durch eine Harmonisierung zwischen den Bemessungsnormen und den Bauproduktnormen zukünftig zu erleichtern.

Die Definition der Nutzungsklassen wurden in Abschnitt 4 restrukturiert, um auch hier den veränderten Anforderungen besser gerecht zu werden.
Der überarbeitete Abschnitt 7 – Grundlagen der Berechnung – beschreibt zusammenfassend für die Bemessungsnachweise der nachfolgenden Kapitel alle notwendigen Randbedingungen. Ergänzend wird in der aktuellen Fassung hier zusätzlich ein Verfahren für die vereinfachte Ermittlung von Auswirkungen der Einwirkungen nach Theorie II. Ordnung, im Prinzip ein erweitertes Verfahren nach Dischinger, angegeben. Zu diesem Vorgehen besteht nach wie vor eine kontroverse Diskussion – ebenso wie zu den vereinfachten Stabilitätsnachweisen (k_c-Verfahren) in Abschnitt 8. Einerseits sollen die Normen vollständig sein, um eine Berechnung durchführen zu können, andererseits werden dadurch bei der Zielgruppe eigentlich allgemein bekannte Regeln wiederholt, die sich auch in Fachbüchern finden oder finden könnten.
Abschnitt 8 – Grenzzustand der Tragfähigkeit – wird hauptsächlich in zwei Themengebiete unterteilt: Der erste Teil definiert alle Querschnittsnachweise, die im Rahmen allgemeiner Bemessungsverfahren zu führen sind, also die allgemeinen Nachweisformate zum Nachweis Beanspruchung / Beanspruchbarkeit ≤ 1. Der Abschnitt 8 enthält weiterhin die bekannten Regeln für die Ersatzstabverfahren für die Stabilitätsfälle Knicken und Biegedrillknicken.

In einem weiteren Unterkapitel werden die Bemessungsverfahren für Bauteile mit besonderen Anforderungen beschrieben, z.B. ausgeklinkte Träger oder Satteldachträger (bisher Teil des deutschen nationalen Anhangs (NA)). Ebenso werden hier die Begrenzung und Bemessung von Durchbrüchen in Trägern geregelt, einschließlich ihrer möglichen Verstärkungen und zur Stabachse exzentrischer Anordnung. Diese Erweiterung ist ein typisches Beispiel, wie pränormative Forschung und Entwicklung in technische Regeln umgesetzt werden kann. Erstmals werden weitere Bemessungsregeln für die Verstärkung von Holzkonstruktionen bereitgestellt.



Source: Zukunft Bau Project SWD-10.08.18.7-17.22

Abbildung 3: Erweiterte Bemessung und die Bemessung von Verstärkungen z.B. für Durchbrüche neu aufgenommen

Wie bei anderen Werkstoffen, so liegt auch im Holzbau der Teufel nicht selten im Detail und damit in der Bemessung der Anschlüsse. Auch hier führten Entwicklungen, wie neue Produktionsverfahren, innovative Verbindungsmitteltechniken, aber auch die Anforderungen des mehrgeschossigen Bauens an Steifigkeiten, Tragfähigkeit und Brandschutz zu einer ganzheitlichen Überarbeitung, siehe auch EN 1995-1-2. Trotz der zahlreichen Neuregelungen und Erweiterungen galt es hier das wesentliche Ziel der Praxistauglichkeit und klaren Anwendbarkeit zu gewährleisten. So wird beispielsweise der Nachweis für Block-Scher-Versagen – das spröde Versagen entlang des Umfangs einer ganzen Verbindungsmittelgruppe – welches bisher dem informativen Anhang A zugeordnet war, nun in den Abschnitt 11 – Anschlüsse und Verbindungsmittel – implementiert. Dazu werden Bemessungsregeln für moderne zimmermannsmäßige Verbindungen, die durch die computer- und robotergestützte Herstellung eine Renaissance erleben, ebenso in das neue Hauptdokument aufgenommen wie eine vereinfachte Methode für die Johansen-Gleichungen zur Bemessung von stiftförmigen Verbindungsmitteln. Vereinfachte (Berechnungs-)Verfahren zur Berücksichtigung des Knickens von druckbelasteten Schrauben in Holz und für eine symmetrische Anordnungen von Verstärkungselementen runden die Neuerungen ab.

Da eine Ausweitung des mehrgeschossigen Bauens mit Holz zu erwarten ist, wurde die Ermüdungsbemessung aus dem Brückenteil EN 1995-2 Abschnitt 10 in den Teil der allgemeinen Bemessungsregeln verschoben, denn neben Lasten aus Verkehr erzeugen beispielsweise Windlasten mit zunehmender Höhe anwachsende, dynamische Einwirkungen.

Auf Grundlage der internationalen Nachfrage, wird nun der Praxis auch ein Abschnitt 14 – Gründung auf Holzpfählen – zur Verfügung gestellt.

Die Regelungen für die Bemessung der Standsicherheit von Holzgebäuden wurden also umfassend überarbeitet, erweitert und dem aktuellen Stand der Technik angepasst. Der Hauptteil des Teils 1 des Eurocode 5 ist damit auf eine Seitenzahl von ca. 240 Seiten angewachsen. Auf Grund des massiv erweiterten Standes der Technik wurde dies aus Sicht der Autoren unvermeidlich. Jedenfalls wurde versucht dabei die Praxistauglichkeit, z.B. durch die Bereitstellung von vereinfachten Berechnungsverfahren, zu erhalten und zu verbessern, beispielsweise durch die Verlagerung von Spezialthemen (z.B. Nagelplattenbemessung) in Anhänge.
Letztendlich ist die Diskussion, ob genauere Verfahren der Bemessung unbedingt erforderlich sind oder nur vereinfachte Verfahren in den Normen enthalten sein sollen – oder umgekehrt – oder sogar nur die Grundlagen der Bemessung (den Rest können die Ingenieur:innen) nach wie vor nicht abgeschlossen. Letztendlich kann man wohl auf beides nicht verzichten, denn eine vereinfachte Regel ermöglicht zwar eine «schnelle Lösung» und damit eine Zeit- und Kostenersparnis bei der Planung, aber sie liegt natürlich immer

«auf der sicheren Seite». Diejenigen wiederum, die z.B. als Generalunternehmer oder Bauproduktproduzent die Bemessungsregeln für eine hohe Anzahl von Bauteilen verwenden, wollen natürlich eine möglichst material- und ressourceneffiziente und damit auch kostensparende Lösung – und das liegt natürlich auch im gesamtgesellschaftlichen Interesse. Der Brandschutzteil des Eurocode 5 – siehe Abschnitt 3 – hat diese Anforderungen an die jeweiligen Nachweisniveaus noch konsequenter umgesetzt als der Teil EN 1995-1-1.

3. Erweiterte Bemessungsregeln für den Brandfall

Gemeinsam mit den Bemessungsregeln zum Nachweis der Standsicherheit von Holzbaukonstruktionen unter Normaltemperatur entstehen mit der EN 1995-1-2 neue begleitende Regeln zum Nachweis von Holzbaukonstruktionen für den Brandfall.
Hierbei wurde das bereits in anderen Eurocodes bekannte Prinzip einer dreistufigen Möglichkeit von Nachweisebenen mit unterschiedlicher Komplexität und Genauigkeit auch für den Holzbau vollständig etabliert. Somit werden zukünftig

- tabellierte Aufbauten / Nachweise,
- vereinfachte (Hand)-Bemessungsmodelle

und

- erweitertet numerische Simulationsmodelle

parallel und gleichwertig zur Verfügung gestellt.
Neben den vereinfachten (Hand)-Bemessungsmodellen und erweiterten numerischen Simulationsmodellen (z.B. Finite-Elemente-Simulationen), deren Prinzipien bereits Gegenstand der aktuellen Heißbemessungsregeln im Holzbau sind, wird erstmals durch die Listung nachgewiesener Aufbauten und Konstruktionen dem Anwender eine einfache und schnelle Möglichkeit zum herstellerneutralen Nachweis des Feuerwiderstands gegeben. In Deutschland sind solche Ansätze bisher aus den tabellierten Nachweisen der DIN 4102-4 bekannt und wertgeschätzt.
Eine weitere wesentliche Änderung in der Nachweisstruktur der EN 1995-1-2 ist die Streichung des Verfahrens der «Methode mit reduzierten Eigenschaften» und die damit verbundene Erweiterung der Bemessungsregeln für die «Methode mit effektivem Querschnitt». Hierdurch wird für alle Holzbauteile einheitlich und vergleichbar mit den bisherigen Regelungen, durch die Ermittlung des effektiven Restquerschnittes in Verbindung mit angepassten Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften und einer reduzierten Einwirkung im Brandfall eine Bemessung in Anlehnung an die Regelungen bei Normaltemperatur ermöglicht.
In der Überarbeitung der EN 1995-1-2 werden die produkttechnologischen Entwicklungen der letzten 20 Jahre nun auch in der Brandschutzbemessung im Holzbau aufgegriffen. Weiterführend wird den aktuellen nationalstaatlichen Brandschutzanforderungen im Hinblick auf das mehrgeschossige Bauen mit Holz bis und über die Hoch-hausgrenze hinaus Rechnung getragen. So werden die Bemessungsverfahren für Verbindungen als auch für den Raumabschluss von Holzbauelementen, die bisher auf 60 Minuten ausgelegt sind, zukünftig auf eine Anwendung für bis zu 120 Minuten Feuerwiderstand angepasst und erweitert. Gleichzeitig wurden Bemessungsregeln für Produkte wie Brettsperrholz, Holz-Beton-Verbundelemente und I-Stegträger integriert sowie Abbrandraten zusätzlicher praxisrelevanter Holzarten wie Esche aufgenommen.
Ebenso erlaubt die nächste Generation der EN 1995-1-2 die Berücksichtigung der Schutzwirkung von biogenen Gefachdämmstoffen, Holzfaserdämmplatten, Lehmwerkstoffen oder Estrichen in Fußbodenaufbauten.
Mit der zukünftigen normativen Berücksichtigung der erhöhten Schutzfunktion von Gipskartonfeuerschutzplatten und Gipsfaserplatten im Hinblick auf einen reduzierten Abbrand werden im Vergleich zum heutigen Ansatz deutliche Optimierungen in der Bemessung möglich.
Mit der Erweiterung der konstruktiven Regelungen zur Detailausführung wird dem Aspekt einer ganzheitlichen brandschutztechnischen Planung Rechnung getragen. Hierbei wird auf die Ausführung von geeigneten Befestigungen, Fugen und Anschlüssen als auch auf die Integration haustechnischer Installationen eingegangen.

Ergänzend zum Hauptteil der EN 1995-1-2 liefern neue Anhänge Regelungen zur Naturbrandbemessung von Holzbauteilen und normative Beurteilungsverfahren zur Bestimmung der Abbrandrate von Holz und Holzwerkstoffen, der Hochtemperatureigenschaften von Verklebungen aber auch zur Bestimmung der brandschutztechnischen Wirkung von neuen Bekleidungen.

4. Nachhaltiger Brückenbau in Holz

Ursprünglich leicht zeitversetzt zu den beiden Hochbauteilen wurde die Holzbrückennorm EN 1995-2 bearbeitet, inzwischen sind die Zeitpläne für alle Teile außer EN 1995-1-3 (Überführung von CEN/TS 19103) synchronisiert (formal enquiry Herbst 2023 – Januar 2024). Die neuen Fassungen werden planmäßig voraussichtlich Anfang des Jahres 2026 den Mitgliedsländern zur Verfügung stehen.
Der Holzbau hat sich wie der Stahl- und der Stahlverbundbau im Gegensatz zum Betonbau dazu entschieden, einen gesonderten Brückenteil zu erhalten.
Eines der Hauptthemen des Brückenteils war die Umsetzung der Vorgaben der EN 1990 und EN 1991-2, insbesondere die Definition von Anforderungen zur Erreichung einer Nutzungsdauer von 100 Jahren. Da die Sprache der Bauschaffenden die Ausführungsplanung ist, wird in einem neuen informativen Anhang D zeichentechnisch an Beispielen stark vereinfacht dargestellt, wie Holzbrücken dem Grunde nach gegen Witterungseinflüsse, insbesondere Feuchte, zu schützen sind. Der normative Anhang B stellt ergänzend Anforderungen an die Prüfung und Unterhaltung von Holzbrücken bereit. Diese Regelungen können – wie auch die des Anhang D – national ergänzt werden.
Die bisher bekannten Anhänge A (Ermüdung) und B (Schwingungen, Dämpfung) wurden in den Hauptteil der EN 1995-1-1 integriert. Zu beiden Themen wurden gegenüber EN 1995-1-1 bzw. EN 1990 zur weiteren Anwenderfreundlichkeit vereinfachte Nachweisverfahren speziell für Brücken entwickelt.
Auch werden parallel zur Hochbaunorm Anforderungen und Regelungen an die Dauerhaftigkeit einschließlich Korrosionsschutz, Deckplatten und Holzbetonverbund-Konstruktionen eingearbeitet. Anforderungen an die Numerische Analyse (Stichwort FEM) sollen in EN 1995-1-1 gestellt werden.
Bei Holz-Beton-Verbund-Brücken unterscheiden sich aufgrund der deutlich größeren Querschnitte die Kriechfaktoren für Beton im Vergleich zu bekannten Hochbaukonstruktionen. Hierzu werden im neuen normativen Anhang A der EN 1995-2 zugehörige Bestimmungsgleichungen angegeben. Der Eurocode 8 Teil 2 Brücken unter seismischen Einwirkungen (Erdbeben) wird nunmehr auch Holzbrücken berücksichtigen. Hierzu wurde vom project team SC5.T6 und der working group WG6 u.a. ein informativer Anhang C erarbeitet.
Hinzuweisen ist noch auf den informativen Anhang E, welcher Vorschläge zu Verformungen und Dimensionsänderungen von Holzkonstruktionen unter wechselnden Umgebungsbedingungen wie Temperatur und Holzfeuchte ebenso enthält wie Hinweise zu quer vorgespannten hölzernen Deckplatten (u.a. zum «Schüsseln» der Plattenecken).

5. Ausblick

Auch wenn der Abschluss der Arbeit an den europäischen Holzbaunormen mit den Jahren 2025 bzw. 2026 noch weit entfernt scheint und die nationalen Anwendungsdokumente ggf. erst im Jahr 2027 zur Verfügung stehen werden – und damit die Übernahme in die VVTBs erfolgen kann – so sind die meisten wesentlichen Änderungen bereits bekannt.
Um insbesondere bei Hybridkonstruktionen den Planern die gleichzeitige Anwendung mehrerer Eurocodes zu erleichtern, sind die Überschriften der Hauptkapitel 1 bis 10 bei allen Material-Eurocodes identisch. Die Kapitel 2 und 3 kamen gegenüber den bisherigen Gliederungen hinzu.

Klar wahrzunehmen ist, dass durch die notwendige Berücksichtigung neuer Holzbauprodukte und die Erweiterung sowie Optimierung bekannter Bemessungsansätze der Umfang der Norm im Vergleich zur heutigen Ausgabe unvermeidlich anwächst. Dennoch liegt ein zentraler Fokus darauf, durch Neustrukturierung und Homogenisierungen aber auch durch vereinfachte Regelungen die Anwenderfreundlichkeit zu erhöhen.

Sicherlich wird aber wie bei der Umstellung auf die erste Generation der Eurocodes ein zusätzlicher Lern-, Aus- und Weiterbildungsprozess notwendig sein, dessen Start bereits vor der finalen Erscheinung einsetzen muss und wird, um die Praxis angemessen vorbereiten zu können.

Abschließend kann man festhalten: Die zweite Generation der Eurocode 5 – Reihe ist keine Revolution, sondern eine Evolution, welche die Erfahrungen und Prinzipien des bisherigen Eurocode 5 logisch fortsetzt.

Achtung! Noch ist es Zeit noch besser zu werden! Beteiligen Sie sich bitte über die nationalen Gremien an den anstehenden Umfragen des formal enquiry und helfen Sie mit, die derzeitigen Fassungen weiter zu optimieren! Allerdings: Die technische Bearbeitung ist abgeschlossen, der Stand der Technik mit Ende 2022 eingefroren – denn sonst werden wir nie fertig. Alles, was jetzt neu hinzukommt, muss also erst einmal auf anderen Ebenen oder in anderen Formaten publiziert werden – vom Fachartikel bis zu Technischen Spezifikationen im CEN stehen dazu ja viele Formate zur Verfügung.

Bemessung von HBV-Decken nach DIN CEN/TS19103

Jörg Schänzlin
Institut für Holzbau, Hochschule Biberach,
Biberach, Deutschland



Bemessung von Holz-Beton-Verbunddecken nach DIN EN/TS19103

1. Allgemeines

Bei der Holz-Beton-Verbundbauweise werden die Vorteile des Holzbaus mit den Vorteilen des Stahlbetonbaus verbunden. So werden im Vergleich zum Holzbau die Steifigkeit und die Tragfähigkeit erhöht und der Brand- und Schallschutz verbessert (siehe [1]). Auch lässt sich durch die Betonplatte eine aussteifende Scheibe auf einfache Art und Weise realisieren. Im Vergleich zum Stahlbetonbau wird das Eigengewicht reduziert und der Anteil von nachwachsenden Rohstoffen deutlich vergrößert. Hinzu kommt, dass im Hochbau bei sichtbaren Holzdecken oft kein weiterer Ausbau notwendig wird. Auch im Hinblick auf die Herstellung der Decken können einige Vorteile wie z.B. geringere einzubringende Betonmenge oder einen geringeren Anteil an Unterstützungsträgern durch die höhere Tragfähigkeit der Holzelemente im Vergleich zu Halbfertigteilplatten genutzt werden. Um diese Vorteile nutzen zu können, sind Berechnungsvorschriften für diese Bauteile zu entwickeln. Daher wurde [2] als Technical Specification erstellt und im Februar 2022 veröffentlicht. Sie kann auf europäischer Ebene als einen möglichen Vorschlag zur Ergänzung der zukünftigen Normengeneration dienen. Daher werden im Folgenden die wesentlichen Teile von [2] vorgestellt.

2. Aufbau von DIN CEN/TS19103 [2]

Um eine einfachere Zugänglichkeit zu den Normen zu erzielen, ist es ein Merkmal der EN-Reihe, dass diese vergleichbar aufgebaut sind. Daher ist [2] in folgende Kapitel gegliedert:
- 0 Einleitung
- 1 Anwendungsbereich
- 2 Normative Verweise
- 3 Begriffe und Symbole
- 4 Bemessungsgrundlage
- 5 Baustoffe
- 6 Dauerhaftigkeit
- 7 Tragwerksberechnung
- 8 Grenzzustände der Tragfähigkeit
- 9 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Nach diesen «Standardkapiteln» sind in [2] folgende weitere Kapitel vorhanden:
- 10 Verbindungen
- 11 Konstruktive Ausführung und Ausführung
- Anhang A (informativ): Jährliche Schwankungen der über den Querschnitt gemittelten Holzfeuchte bei Holz-Beton-Verbundbauteilen unter veränderlichen Umgebungsbedingungen
- Anhang B (informativ): Berechnung der Auswirkungen unelastischer Dehnungen
- Anhang C (informativ): Experimentelle Bestimmung der Tragfähigkeit und des Verschiebungsmoduls von Holz-Beton-Verbindungen

Im Gesamten besteht [2] aus 46 Seiten Normentext und 13 Seiten Anhänge.

3. Anwendungsbereich

Für die Ausführung von Holz-Beton-Verbunddecken stehen eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Verfügung. Allerdings sind nicht alle Kombinationen ausreichend durch Versuche und/oder analytische Studien untersucht worden. Daher ist der Anwendungsbereich von [2] durch folgende Randbedingungen festgelegt:
- Holz: [2] baut auf [3] auf. Damit sind alle Materialien, die in diesem Teil geregelt sind, prinzipiell verwendbar. Lediglich bei der Verwendung der Kerve kommt es zu einer Einschränkung des Materials auf mindestens C24 bzw. mindestens GL24.

- Beton: Für den Beton dürfen folgende Betonfestigkeitsklassen verwendet werden:
  - Normalbeton: ≥ C12/15; ≤ C60/80
  - Leichtbeton: ≥ LC12/15; ≤ LC60/80

  Lediglich bei der Verwendung der Kerve entsprechend den im Rahmen von [2] gegebenen Parametern ist eine Mindestbetongüte C20/25 vorgegeben.
- Bewehrung: Für die Bewehrung wird auf [4] verwiesen, so dass alle dort verwendbaren Bewehrungen auch bei Holz-Beton-Verbundbauteilen verwendet werden dürfen.
- Nutzungsklasse: Prinzipiell sollte Holz nur in Nutzungsklasse 1 und 2 verwendet werden. Allerdings ist diese Definition von Land zu Land unterschiedlich. So ist z.B. in [5] der maximale Regeneinfallswinkel definiert, der die Grenze zwischen Nutzungsklasse 2 und Nutzungsklasse 3 definiert. Da es diese Regelung zum heutigen Stand nicht in allen europäischen Ländern gibt, ist die Einstufung von Bauteilen in Nutzungsklassen teilweise recht unterschiedlich. Daher wird in [2] keine generelle Einschränkung der Nutzungsklasse eingeführt. Lediglich die Nutzungsklasse der Fuge ist dahingehend vorgegeben, dass die Fuge so auszubilden ist, dass sie in Nutzungsklasse 1 oder 2 eingestuft werden kann.
- Im Hinblick auf die Abmessungen ist vorgegeben, dass die Betonplatte mindestens 50mm aber maximal 300mm Bauteildicke aufweist. Die Dicke von eventuell eingebauten Zwischenschichten darf nach aktuellem Stand maximal 50mm betragen.

4. Wesentliche Besonderheiten bei der Bemessung von Holz-Beton nach der Technical Specification im Hinblick auf das Kurzzeitverhalten

4.1. Belastung/Einwirkungen

Allgemeines: Ein wesentlicher Unterschied bei der Bemessung von Holz-Beton-Verbundbauteilen im Vergleich zu reinen Holz- oder Betonbauteilen sind die zu berücksichtigenden Einwirkungen. Ändert sich die Temperatur, der Feuchtegehalt des Holzes oder schwindet der Beton, wird diese Relativverschiebung des einen Verbundpartners durch den anderen behindert (vgl. Abb. 1).

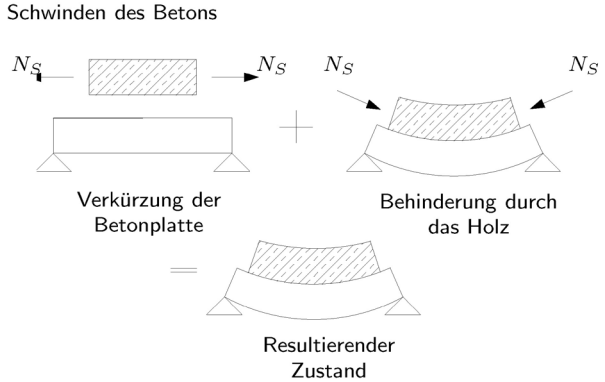


Abbildung 1: Auswirkungen der spannungslosen Dehnung z.B. infolge Temperaturabnahme oder Schwinden des Betons

Die dabei entstehenden Schnittgrößen und Verformungen lassen sich durch eine Superposition verschiedener Zustände abbilden. Im ersten Schritt werden dabei beide Querschnitte voneinander getrennt betrachtet, so dass sie sich unabhängig verformen können. Diese unabhängige Verformung wird allerdings durch die Verbindungsmittel verhindert, so dass der sich verkürzende Teilquerschnitt durch eine Kraft wieder so verlängert wird, dass die beiden Querschnitte gleich lang sind. Aus Gründen des Gleichgewichts wird diese Belastung auf den Verbundquerschnitt wieder aufgebracht. Daraus ergibt sich, dass nur die Relativverschiebung zwischen beiden Querschnitten von Bedeutung ist. Schwinden oder quellen beide Querschnitte in einem vergleichbaren Maß, entsteht keine Kraft, um beide Querschnitte auf die gleiche Länge zu bringen. Dies ist auch der Grund, warum das Quellen und Schwinden des Holzes bei den üblichen Holz-Holz-Verbundträgern nur von untergeordneter Bedeutung ist.

Verkürzt sich der oben liegende Beton relativ zum unten liegenden Holz, hat dies zur Folge:
- Abnahme der Normalkraft: Da sich der Beton verkürzt, entsteht daraus eine Druckkraft im Holz. Die resultierenden Belastungen aus äußerer Last und Schwinden des Betons führen dazu, dass die Normalkraft im Teilquerschnitt abnimmt.
- Abnahme der Belastung der Verbindungsmittelbelastung: Nimmt die Normalkraft im Teilquerschnitt ab, nimmt auch die Verbindungsmittelbelastung ab, da diese «nur» dazu dient, die Druckkraft im Beton mit der Zugkraft im Holz kurzzuschließen.
  Diese Abnahme hat auch zur Folge, dass Schwinden des Betons auch dann berücksichtigt werden muss, wenn das plastische Verhalten der Verbindungsmittel berücksichtigt wird. Während durch das Fließen des Stahls und des Betons und des Reißens des Betons erreicht wird, dass Schwinden bei Stahlbetonbauteilen in der Bemessung nicht berücksichtigt werden muss, entsteht bei Holz-Beton-Verbundbauteilen durch Schwinden des Betons eine Abnahme der Normalkraft und der Verbindungsmittelbelastung. Durch die Entlastung der Verbindungsmittel hat das plastische Vermögen der Verbindungsmittel keine Auswirkungen auf die Schnittgrößenaufteilung im Lastfall Schwinden.
- Zunahme des Moments im Holz: Da die Normalkraft abnimmt, die äußere Belastung aber konstant ist, steigt das Moment im Teilquerschnitt an.
- Zunahme der Verformung: Durch das Schwinden des Betons entzieht sich dieser seiner Druckbelastung, so dass der Verbundbauanteil am Lastabtrag abnimmt. Daher muss ein größerer Teil über Biegung abgetragen werden, so dass die Verformung des Gesamtbauteils zunimmt.

Verkürzt sich das unten liegende Holz relativ zum oben liegenden Beton treten die umgekehrten Effekte auf.
Durch diese unterschiedlichen Dehnungen der beiden Teilquerschnitte entstehen Eigenspannungen, die sich in Verformungen bemerkbar machen. So zeigt sich in [1], dass die Verformungen der Decken erst dann realitätsnah abgebildet werden können, wenn Schwinden des Betons berücksichtigt wird. Darüber hinaus sind auch Eigenspannungen Spannungen, die die Tragfähigkeit des Bauteils beeinflussen. Im Vergleich zu anderen Materialien hat Holz unter einer Zugbeanspruchung eher ein sprödes Verhalten, so dass diese Eigenspannungen nicht durch eine plastische Verformung abgebaut werden können. Daher sind diese Einwirkungen im Nachweis zu berücksichtigen.

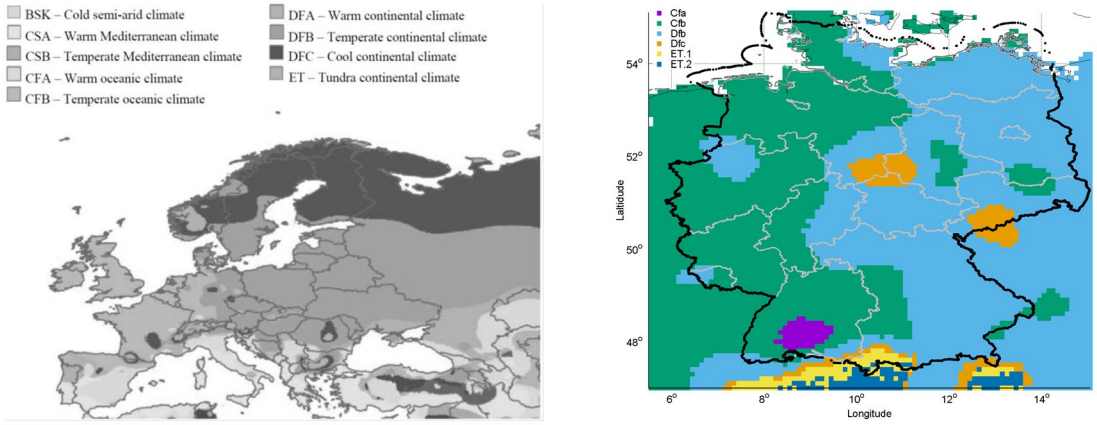
Anzusetzende Belastungen: Im Hinblick auf die Belastungen ergibt sich also, dass folgende Einwirkungen berücksichtigt werden müssen:
- «übliche» äußere Belastungen infolge Eigengewicht, Verkehr, Schnee, Wind etc. nach [6] ff.
- Eigenspannungen hervorrufende Einwirkungen wie z.B. Temperatur, Schwinden und Quellen des Holzes und Schwinden des Betons

Entsprechend [2] wird – vereinfachend – zugelassen, dass Temperaturänderungen und Auswirkungen der Feuchteänderungen in quasi-konstanter Umgebung vernachlässigt werden dürfen. Diese quasi-konstante Umgebung ist durch folgende Größen definiert:
- Das Holzfeuchte entspricht – im ingenieurmäßigen Sinn – zum Zeitpunkt des Einbaus der Ausgleichsfeuchte.
- Die Differenz zwischen minimaler und maximaler Holzfeuchte innerhalb eines Jahres ist kleiner/gleich 6%.
- Die Änderung der Lufttemperatur überschreitet nicht 20° C

Dies bedeutet, dass bei typischen Situationen der Nutzungsklasse I die Temperaturänderungen und die Feuchteänderungen (und damit das Quellen & Schwinden des Holzes) vernachlässigt werden dürfen. Schwinden des Betons ist dagegen auch bei quasi-ständigen Umgebungsbedingungen sowohl im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit als auch im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu berücksichtigen.
Sollten die Umgebungsbedingungen nicht als quasi-konstante Umgebungsbedingungen eingestuft werden können, müssen zusätzlich zum Schwinden des Betons Temperaturänderungen und Quellen/Schwinden des Holzes in der Berechnung berücksichtigt werden.

Für die Ermittlung der inelastischen Dehnungen stehen verschiedene Quellen zur Verfügung:
- Temperatur nach [7], wobei prinzipiell zwei Einwirkungen zu unterscheiden sind
  - Temperaturdifferenz zwischen Temperatur beim Einbau und mittlere Temperatur im Betrieb
  - Jährliche Temperaturschwankungen
- Schwinden des Betons nach [4]
- Schwinden und Quellen des Holzes: Ähnlich wie bei der Temperatur sind beim Schwinden und Quellen des Holzes prinzipiell auch zwei verschiedene Einwirkungen infolge Feuchteänderung des Holzes zu beachten
  - Feuchteunterschied zwischen Einbau und Ausgleichsfeuchte
  - Jährliche Feuchteschwankungen: Für die Ermittlung des jährlichen Quellen bzw. Schwindens des Holzes werden im Anhang A von [2] Regelungen gegeben, anhand dieser die erwartete Feuchteänderung für ein überdachtes, nicht beheiztes Bauteil mit direktem Zugang der Außenluft ermittelt werden kann.

Die Ermittlung diese jahreszeitlichen Feuchteänderungen erfolgt – sofern keine genaueren Daten bekannt sind – in folgenden Schritten:
- Festlegung der Klimazone des Gebäudes anhand des Köppen-Geiger-Diagramms (vgl. Abb. 2)



(a) Europa (siehe [2]) (b) Deutschland

Abbildung 2: Köppen-Geiger-Diagramm

- Ermittlung der Feuchte durch Interpolation der in [2] gegebenen Werte für Querschnitte mit verschiedenen Breiten (vgl. Tab. 1)
- Modifikation der Feuchte in Abhängigkeit der Nutzungsklasse
- Ermittlung der Dehnung durch

$$\varepsilon = \alpha_{||} \cdot \Delta u \qquad (1)$$

ε effektive Dehnung infolge Feuchteänderung
Δu Feuchteänderung; ermittelt aus Tab. 1
$\alpha_{||}$ Ausdehnungskoeffizient des Holzes parallel zur Faser = 0,01%/%Δu entsprechend [8]

Tabelle 1: Rechnerische Feuchteschwankungen in % im Querschnitt Δmc = max mc-min mc (Auszug aus [2])

Bez.	Breite in mm 38	125	>300
Gemäßigt ozeanisch Stuttgart, Paris, London CFB	15	9	3
Gemäßigt kontinental südliche Gebiete Warschau, Berlin, München, Prag DFB.2	15.5	9	3.5

Werden die verschiedenen Zulassungen ausgewertet, ergibt sich, dass die Berücksichtigung der Dehnungen infolge Feuchteänderung des Holzes und Schwinden des Betons eigentlich bereits in den Zulassungen gefordert wird. Ein wesentlicher Unterschied zwischen [2] und den Zulassungen ist allerdings, dass bei [2] diese Einflussparameter explizit zu berücksichtigen sind, während in den Zulassungen diese Einflussparameter in einer globalen Abminderung der E-Moduli erfasst werden.

Teilsicherheitsbeiwerte: Für die Teilsicherheitsbeiwerte werden im Wesentlichen die Teilsicherheitsbeiwerte entsprechend der Einteilung in [9] verwendet. So werden für ständig wirkende Lasten und eingeprägte Verformungen ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_F = 1{,}35$ vorgeschlagen, während für variable Lasten ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_F = 1{,}5$ zur Anwendung kommen soll. Die Belastungen infolge der Unterschiede zwischen Einbau- und Endzustand und infolge der jährlichen Schwankungen wie z.B. Temperatur, Schwinden des Betons und/oder Feuchte werden daher mit einem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_F = 1.35$ versehen.

Klassen der Lasteinwirkungsdauern: Bezüglich der Klassen der Lasteinwirkungsdauern werden die Einteilungen nach [3] übernommen. Damit wird das Schwinden und die Änderungen vom Zeitpunkt des Einbaus bis zum Endzustand als ständige Belastung angesehen, während die jährlichen Schwankungen der Klasse der Lasteinwirkungsdauer «mittel» zugeordnet werden.

4.2. Modifikationsbeiwerte

Um den Einfluss der Zeit und der Feuchte auf die Festigkeit zu erfassen, sind in [3] Modifikationsfaktoren der Festigkeit k_{mod} eingeführt. Für den Holzquerschnitt werden diese Werte direkt übernommen.
Im Hinblick auf die Verbindungsmittel wurde das Konzept für die Verbindung von Bauteilen aus Holz bzw. Holzwerkstoffplatten übernommen. Für den k_{mod} -Wert wird dabei der Festigkeitsbeiwert des Betons zur Berücksichtigung von Langzeiteffekten α_{cc} angenommen, so dass sich für das Verbindungsmittel folgender Modifikationsbeiwert ergibt:

$$k'_{mod} = \sqrt{k_{mod} \cdot \alpha_{cc}} \tag{2}$$

k'_{mod} Modifikationsbeiwert der Verbindung
k_{mod} Modifikationsbeiwert des Holzes
α_{cc} Festigkeitsbeiwert des Betons zur Berücksichtigung der Langzeitfestigkeit i.d.R. =0.85

Anzumerken ist, dass der k'_{mod}-Beiwerte nur bei Verbindungsmittel zur Anwendung kommt, bei denen die Festigkeiten der einzelnen Querschnittspartner sich gegenseitig beeinflussen. Dies ist z.B. bei einer Bestimmung der Tragfähigkeit nach der Johansen-Theorie der Fall (siehe Abs. 5.2). Lassen sich die Tragfähigkeit in einzelne Traganteile aufteilen (wie z.B. bei der Kerve, siehe Abs. 5.3) ist der jeweilige k_{mod}-Wert der Festigkeit anzusetzen.

4.3. Ermittlung der Schnittgrößen

Verfahren: Wie bei Holz-Verbindungen üblich, beeinflusst die Nachgiebigkeit der Verbindung das Trag-und Verformungsverhalten des Verbundträgers maßgeblich. So sind alle Verbindungen mit Ausnahme der Klebung als nachgiebig einzustufen. Diese Nachgiebigkeit ist daher bei der Ermittlung der Schnittgrößen zu beachten. Dazu stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung:
- Differentialgleichung (siehe z.B. [10] oder [11])
- γ-Verfahren nach [3], Anhang B
- Schubanalogie-Verfahren nach [12] (siehe auch [13] oder [14])
- Modellierung als Stabwerksystem (siehe u. a. [15])
- FE-Modellierung

Die Entscheidung, welches Verfahren verwendet werden soll, hängt vom jeweiligen Anwendungsfall ab. So kommen im wissenschaftlichen Bereich eher FE-Modelle zum Einsatz, während bei der Bemessung der üblicherweise 2-schichtigen Holz-Beton-Verbundbauteile eher die γ-Methode oder das Modellierung als Stabwerk zum Einsatz kommen.

Die Anwendung des γ-Verfahrens ist allerdings eingeschränkt. So ist die Anwendung eigentlich nur dann möglich, wenn folgende Randbedingungen eingehalten sind:
- Einfeldträger
- *sin*-förmige Gleichstreckenlast
- gleichmäßig verteilte Verbindungsmittel
- maximal drei nachgiebig angeschlossene Schichten

Im Lauf der Zeit wurden einige Erweiterungen entwickelt, so dass nach [3] dieses Verfahren auch für Durchlaufträger und Kragarme bei konstanter Gleichstreckenlast angewandt werden kann. Sollten die Verbindungsmittel der Querkraft entsprechend abgestuft werden, darf dies durch die Modifikation des effektiven Abstands der Verbindungsmittel abgebildet werden.

$$s_{ef} = 0.75 \cdot s_{min} + 0.25 \cdot s_{max} \tag{3}$$

s_{ef} effektiver Abstand
s_{min} minimaler Abstand bei einer Abstufung entsprechend dem Querkraftverlauf
s_{max} maximaler Abstand bei einer Abstufung entsprechend dem Querkraftverlauf

Abgeleitet von den Randbedingungen ist die Anwendung des γ-Verfahrens eigentlich nur für Verbindungsmittel mit einer gleichmäßigen Lasteinleitung möglich. Als Grenze wird bisher in [2] ein maximaler Abstand der Verbindungsmittel von 5% der Spannweite angegeben, da ansonsten die Steifigkeit der Decke und damit die Schnittgrößen zu große Abweichungen aufweisen (siehe auch [16]).
Sollte diese Grenze nicht eingehalten werden, ist die Dehnsteifigkeit *EA* des angeschlossenen Querschnittsteils (i.d.R. = Betonquerschnitt) mit dem Faktor 0.7 zu modifizieren.

Berücksichtigung der spannungslosen Dehnungen z.B. infolge Temperatur, Schwinden oder Quellen: Ein wesentlicher Unterschied bei Holz-Beton-Verbunddecken im Vergleich zu reinen Holz-Holz-Verbundträgern ist, dass die spannungslosen Dehnungen wie z.B. infolge Änderung der Temperatur, infolge Schwinden des Betons und/oder infolge Feuchteänderung im Holz bei der Berechnung berücksichtigt werden müssen.
Bei der Modellierung als Fachwerk kann diese Dehnung als effektive Temperaturdehnung dem jeweiligen Teilquerschnitt als Last aufgebracht werden. Beim γ-Verfahren nach [3], Anhang B ist die Berücksichtigung der spannungslosen Dehnung nicht ohne weiteres möglich. Um dennoch diese Methode anwenden zu können, wird in [2] Anhang B ein Verfahren vorgeschlagen, mit dem die spannungslose Dehnung in eine Ersatzlast umgewandelt und eine wirksame Biegesteifigkeit ermittelt werden kann. An dieser Stelle wird auf [17 - 21] verwiesen.

Materialverhalten: Bei der Ermittlung der Schnittgrößen darf sowohl beim Holz als auch beim Beton unter Druck von einem elastischen Materialverhalten ausgegangen werden. Das Reißen des Betons unter Zug muss berücksichtigt werden. Um dies zu erreichen, wird die gerissene Zone iterativ bestimmt, indem eine nichttragende Zwischenschicht eingeführt wird, bis im verbleibenden Betonquerschnitt nur noch Druckspannungen vorhanden sind.
Das lineare Materialverhalten des Betons unter Druck wird auch beim Nachweis berücksichtigt, da bei diesem Nachweis auf das plastische Verhalten des Betons verzichtet werden darf. Damit ergibt sich für den Nachweis auf der Druckseite

$$\sigma_{c,d} \leq \alpha_{cc} \cdot f_{cd} \tag{4}$$

$\sigma_{c,d}$ Druckspannung des Betons unter der Annahme eines linear-elastischen Verhaltens unter Druck
α_{cc} Faktor zur Berücksichtigung von Langzeiteffekten
i.d.R. = 0.85
f_{cd} Bemessungswert der Druckfestigkeit

Der Verzicht auf die Berücksichtigung des plastischen Verhaltens des Betons ist auch dadurch begründet, dass durch das plastische Verhalten des Betons die Steifigkeit des Betons abnimmt. Diese abnehmende Steifigkeit beeinflusst allerdings wiederum die

Schnittgrößenaufteilung im Querschnitt, so dass bei einer Berücksichtigung des plastischen Verhaltens des Betons die Schnittgrößen im Holz ansteigen werden. Aufgrund des tendenziell spröden Versagens des Holzes unter Zug muss bei einer Berücksichtigung des plastischen Verhaltens diese Umlagerungen der Schnittgrößen erfasst werden.
Der Holzquerschnitt dagegen wird entsprechend [3] für die ermittelten Normalkraft und das ermittelte Moment nachgewiesen.

Kompatibilität: Der Bauteilnachweis wird mit Hilfe der Schnittgrößen der Teilquerschnitte geführt. [2] fordert allerdings beim Nachweis die Kontrolle der Kompatibilität. Bei der üblichen Bemessung von Stahlbetonbauteilen wird i.d.R. von einer elastisch-plastischen Bemessung ausgegangen. Diese bedeutet, dass die Schnittgrößen am ungerissenen System ermittelt werden. Die Tragfähigkeit wird dadurch nachgewiesen, dass die plastische Querschnittstragfähigkeit (also unter Berücksichtigung des Fließens der Bewehrung und einer ausreichenden Rissbildung) mit der im rein elastischen Zustand (=ohne Rissbildung des Betons) nachgewiesen wird. Damit weichen die Dehnungen und Verformungen der Schnittgrößenermittlung signifikant von den Zuständen der Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit ab; allerdings kann diese unterschiedliche Herangehensweise zur Ermittlung der Schnittgrößen und der Querschnittstragfähigkeit im Stahlbetonbau aufgrund der Rotationsfähigkeit des Stahlbetonquerschnitts akzeptiert werden, denn sollten Überbeanspruchungen auftreten, beginnt der Querschnitt zu fließen und der ursprünglich geplante Zustand wird sich einstellen. Im Holz-Beton-Verbundbau liegt dagegen infolge des eher spröden Holzes keine ausreichende Rotationsfähigkeit des Querschnitts vor, so dass nicht die Möglichkeit einer elastisch-plastischen Bemessung vorliegt, was aber die Voraussetzung für die Bemessung nach [4] und damit Grundlage der üblichen Bemessungsverfahren in der Software darstellt. Wird die automatisierte Bemessung in der Software verwendet, wird – für die Ermittlung der plastischen Momententragfähigkeit -- davon ausgegangen, dass die Bewehrung anfängt zu fließen und die maximale Druckdehnung erreicht wird. Damit wird an der Oberseite des Betonquerschnitts von einer Dehnung von etwa ε_{Beton} = -3.5‰ angenommen, während auf der Höhe der Bewehrung von einer Dehnung im Stahl bzw. Beton von $\varepsilon_{Bew} \geq 2$‰ ausgegangen wird. Wird die maximale charakteristische Dehnung im Holz unter Biegung bestimmt, zeigt sich, dass diese maximale charakteristische Dehnung im Bereich der Fließdehnung des Stahls liegt.
Da das Holz i.d.R. aber unterhalb der Zugzone des Betons angebracht wird, ist die Dehnung im Holz – je nach Verbundfaktor γ – größer als die Dehnung in der Bewehrung (vgl. Abb. 3).

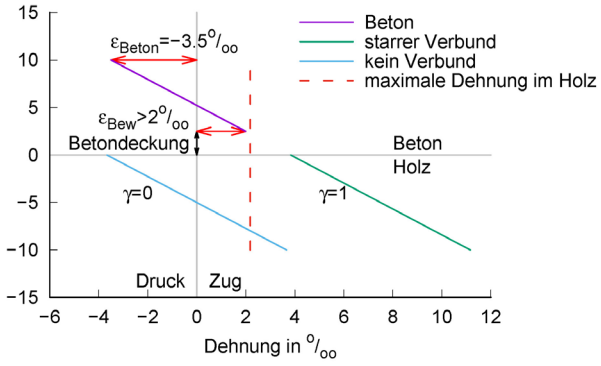


Abbildung 3: Verlauf der Dehnung im Verbundquerschnitt

Sollte also zusätzliche Bewehrung als tragendes Bauteil eingebaut werden, stellt sich die Frage, welche Dehnung in der Bewehrung entstehen kann. I.d.R. verbleibt die Bewehrung im elastischen Zustand, so dass die normale Stahlbetonbemessung z.B. mit Hilfe von Software nicht möglich ist.

Mittragende Breite: Auf die linienförmigen Holzbauteile werden Flächen aus Beton aufgebracht. Durch die damit einhergehende Schubverformung des Betons wirkt dieser nicht über die gesamte Breite mit. Daher wird üblicherweise immer eine mittragende Breite definiert, mit deren Hilfe eine äquivalente Spannung im Beton bei Vernachlässigung der Schubverformung erzielt wird.

Bei der Ermittlung dieser mittragenden Breite werden zwei Anteile berücksichtigt
- Scheibenanteil: Dieser Anteil entsteht, indem eine Normalkraft in die Scheibe eingeleitet wird.
- Plattenanteil: Dieser Anteil berücksichtigt die Ausbreitung eines Biegemoments in der Platte

Da – wie im vorangegangenen Kapitel gezeigt – die Bewehrung nur eingeschränkt angesetzt werden kann, ist eigentlich der Scheibenanteil der wesentliche Anteil bei der Schnittgrößenermittlung von Holz-Beton-Verbunddecken. Werden die bisherigen Normen [22] und [4] miteinander verglichen, zeigt sich, dass [22] eher den Scheibenanteil abbildet als [4], so dass in [2] für die Ermittlung der mittragenden Breite auf [22] verwiesen wird.

5. Verbindungsmittel

5.1. Allgemeines

Die Verbindungsmittel stellen ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal bzw. wesentliche Besonderheiten zu anderen materialreinen Systemen dar. Diese Verbindungsmittel müssen einerseits die Lasten aus dem Holz ausleiten, andererseits muss eine ausreichende Verankerung im Beton vorhanden sein. Daher wurden eine Vielzahl an Verbindungsmittel entwickelt, die häufig über Zulassungen geregelt sind.
In [2] wird eine Schnittstelle geschaffen, mit dem Ziel, dass die zukünftige Bemessung der zugelassenen Verbindungsmittel mit Hilfe der Kennwerte aus den Zulassungen der einzelnen Verbindungsmittel und [2] erfolgen kann. Daher ist zu erwarten, dass es auch nach Einführung einer Bemessungsnorm für Holz-Beton-Verbundbauteilen weiterhin Zulassungen geben wird, zumal diese Bemessungsnorm nach aktuellem Stand «nur» zwei Verbindungsmitteltypen regelt.
- stiftförmige Verbindungsmittel (inkl. eingeklebte Gewindestangen), die im 90°-Winkel zur Fuge eingebaut werden
- Kerven (= über die gesamte Breite des Holzes verlaufende ausbetonierte Vertiefung im Holz)

Geklebte Verbindungen oder Verbundbausystem, die im Wesentlichen die Belastungen durch Reibung übertragen, werden von dieser Norm nicht erfasst. Alle anderen Verbindungsmittel können prinzipiell verwendet werden, sofern die mechanischen Kenndaten wie Tragfähigkeit, Verschiebungsmodul im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und Verschiebungsmodul im Grenzzustand der Tragfähigkeit z.B. durch Zulassungen bekannt sind. Für alle Verbindungsmittel gilt, dass mindestens 10% der Abscherkraft rechtwinklig zur Fuge als öffnende Kraft aufgenommen werden können muss.

$$F_{\perp,d} = 0.1 \cdot F_{v,Ed} \tag{5}$$

$F_{\perp,d}$ Beanspruchung rechtwinklig zur Fuge
$F_{v,Ed}$ Bemessungswert der Abscherbeanspruchung in der Fuge

Hintergrund für diese Regelung ist, dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass z.B. bei einem Einfeldträger eine unplanmäßige Einspannung durch die Wand entsteht. Damit besteht prinzipiell die Gefahr, dass sich das Holz vom Beton lösen kann. Hinzu kommt, dass Verkehrsbelastungen prinzipiell wiederkehrende Belastungen sind. Sollte diese Belastung häufiger auftreten, kann die Gefahr bestehen, dass sich z.B. die Kerve aus dem Holz «herausarbeitet». In diesem Fall würde sich die Betonplatte ebenfalls vom Holz lösen. Um das Abheben in diesen Situationen zu verhindern, wird daher pauschal eine gewisse Beanspruchbarkeit ⊥ zur Fuge gefordert. Der Ursprung dieser Regelung ist allerdings bereits in [23] zu finden, so dass diese Regelung für [2] übernommen wurde.

5.2. Stiftförmige Verbindungsmittel

Tragfähigkeit: Die Berechnung der stiftförmigen Verbindungsmittel in Holz-Holz-Verbindungen und Holz-Stahl-Verbindungen ist in [3] geregelt. Die Tragfähigkeit dieser Verbindungsmittel basiert auf der Theorie nach [24], in der für das lokale Versagen bei auf Abscheren beanspruchter, stiftförmige Verbindungsmittel sechs Versagensmodi identifi-

ziert hat. Um die Tragfähigkeit dieser Versagensmodi zu bestimmen, wird das Gleichgewicht an der Scherfuge unter der Annahme eines (ideal)plastisches Verhaltens der verbundenen Bauteile und der Verbindungsmittel ermittelt.
Untersuchungen bei Holz-Beton-Verbundbauteilen zeigen, dass diese Anforderungen auch bei Holz-Beton-Verbundmittel und dem umgebenden Material infolge der lokalen Beanspruchung erfüllt ist.
Da diese Theorie nach [24] «nur» auf der Lösung der Gleichgewichtsbedingungen an der Fuge basiert, kann diese Theorie auch bei Holz-Beton-Verbundbauteilen angewandt werden. Einzig die Lochleibungsfestigkeit des Betons ist bisher nicht eindeutig definiert. In [2] wird davon ausgegangen, dass die Teilflächenpressung des Betons angesetzt werden darf (siehe auch [4]), so dass die Lochleibungsfestigkeit dem 3-fachen der Druckfestigkeit entspricht.

Steifigkeit: Für die Steifigkeit wird davon ausgegangen, dass die Verformungen im Beton im Vergleich zu denjenigen im Holz vernachlässigbar sind. Damit stellen sich die gleichen Verhältnisse wie bei Stahl-Holz-Verbindungen ein.
Da die Verschiebungsmoduln in [3] für Holz-Holz-Verbindungen gelten, wird davon ausgegangen, dass sich das stiftförmige Verbindungsmittel in beiden zu verbindende Bauteile eindrückt.
Bei einem stiftförmigen Holz-Beton-Verbindungsmittel ist allerdings davon auszugehen, dass dieses Eindrückung nur im Holz stattfindet. Damit ist – in der Theorie – die Verschiebung nur halb so groß wie bei einer Holz-Holz-Verbindung, sofern die gleichen Lochleibungsspannungen herrschen. Ist die Verformung bei gleicher Kraft nur halb so groß, ist damit die Steifigkeit der Verbindung doppelt so groß.

- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit
  - Stabdübel, Bolzen mit oder ohne Lochspiel, Schrauben, Nägel (vorgebohrt)

$$K_{ser} = 2 \cdot \frac{\rho_m^{1.5} \cdot d}{23} \tag{6}$$

  - Nägel (nicht vorgebohrt)

$$K_{ser} = 2 \cdot \frac{\rho_m^{1.5} \cdot d^{0.8}}{30} \tag{7}$$

- Nachweis der Tragfähigkeit: Die Steifigkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird – wie im Holzbau üblich – durch folgende Beziehung bestimmt

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} \tag{8}$$

Bei einer Zwischenschicht mit einer Dicke von ≤ 30mm und aus einer Material mit vergleichbarer Steifigkeit wie Vollholz, muss die Steifigkeit um 30% reduziert werden, sofern keine genaueren Angaben bekannt sind.

5.3. Kerven

Allgemeines: Als Kerven werden über die gesamte Breite des Holzbauteils verlaufende Vertiefungen bezeichnet, die durch den Beton ausgegossen werden. Durch diesen Verguss ist eine kraftschlüssige Verbindung hergestellt. Diese Verbindungen werden häufig bei flächigen Holzbauteilen angewandt, da sie relativ einfach und kostengünstig herstellbar sind.

Anwendungsbereich: Aufgrund der vorliegenden Untersuchungen, die nicht den gesamten möglichen Parameterbereich abdecken können, ist eine Begrenzung des Anwendungsbereichs notwendig. Für Kerven (vgl. Abb. 4) bedeutet dies, dass nach aktuellem Stand folgende Mindestanforderungen gestellt werden:

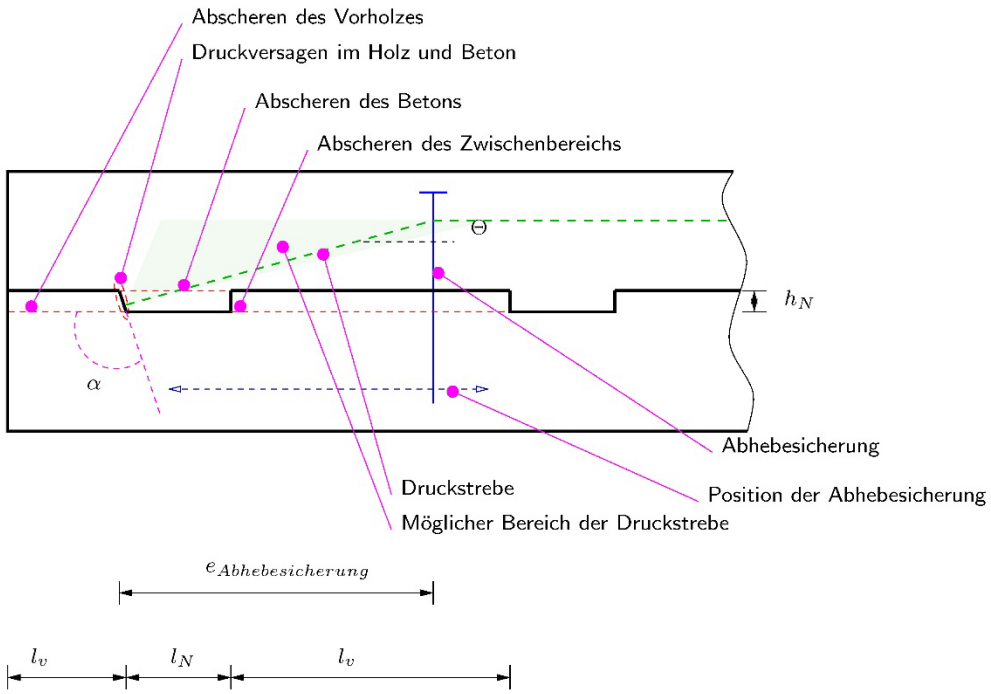


Abbildung 4: Kerve als Verbindungsmittel

- Betongüte mindestens C20/25 mit maximalem Durchmesser des Zuschlagkorns von 16mm
- Brettschichtholz mind. der Festigkeitsklasse GL24, Vollholz mind. der Festigkeitsklasse C24 oder Furnierschichtholz
- Geometrie der Kerve
  - Tiefe $h_N \geq 20mm$ für übliche Belastungen (z.B. Hochbau) und $h_N \geq 30mm$ für hohe Belastungen (z.B. Brückenbau)
  - rechnerische Vorholzlänge $l_v \geq 8 \cdot h_N$, wobei aus Gründen der Duktilität und damit der Robustheit die tatsächliche Vorholzlänge der Kerve $l_v \geq 12.5 \cdot h_N$ betragen muss.
  - Länge der Kerve im Holz $l_v \geq 150\,mm$
  - Abhebesicherung durch Schrauben mit $Ø \geq 6mm$
  - Neigungswinkel der Flanken

$$80° \leq \alpha \leq \min(115°;\ 90° + \Theta) \tag{9}$$

Steifigkeit: Die Steifigkeit wurde im Wesentlichen aus numerischen und experimentellen Untersuchungen ermittelt (siehe [16] und [25]).

$$K_{ser} = \begin{pmatrix} 1000\text{kN/mm/m Breite} & \text{für} & h_N = 20\text{mm} \\ 1500\text{kN/mm/m Breite} & \text{für} & h_N \geq 30\text{mm} \end{pmatrix} \tag{10}$$

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit muss die Steifigkeit der Kerve – im Gegensatz zu anderen Verbindungsmitteln – nicht auf 2/3 der Steifigkeit im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit reduziert werden. Daher darf im Grenzzustand der Tragfähigkeit die gleiche Steifigkeit angesetzt werden wie im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

Tragfähigkeit: Für die Tragfähigkeit der Kerve werden die möglichen Versagensmodi in den Bemessungsgleichungen abgebildet (siehe [16], [25] und Abb. 4)
- Abscheren der Betonnocke
- Druckversagen der Kervenflanke im Beton
- Schubversagen des Vorholzes,
- Druckversagen der Kervenflanke im Holz, wobei maximal das 8-fache der Kerventiefe als Vorholz angesetzt werden darf

Diese Versagensmodi lassen sich durch folgende Beziehungen bestimmen

$$F_{R,d} = \begin{cases} f_{v,c,d} \cdot b_N \cdot l_N & \text{Abscheren der Betonnocke} \\ f_{cd} \cdot b_N \cdot h_N & \text{Druckversagen Beton} \\ k_{cr} \cdot f_{v,h,d} \cdot b_N \cdot \min\left(\underbrace{l_v, l_s}_{\geq 12.5 \cdot h_N},\ \underbrace{8 \cdot h_N}_{8 \cdot h_N} \right) & \text{Abscheren des Holzes} \\ f_{h,0,d} \cdot b_N \cdot h_N & \text{Druckversagen Holz} \end{cases} \tag{11}$$

$F_{R,d}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit der Kerve

$f_{v,c,d}$ «Schubfestigkeit» des Betons
$= \frac{\nu \cdot f_{cd}}{cot\Theta + tan\Theta}$

ν Reduktionsfaktor der Tragfähigkeit zur Berücksichtigung der Risse im Beton bei einer Schubbeanspruchung
$= 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$

b_N Breite der Kerve, i.d.R 1m

l_N Länge der Betonnocke

f_{cd} Bemessungswert der Druckfestigkeit des Betons

$f_{h,0,d}$ Bemessungswert der Druckfestigkeit des Holzes parallel zur Faser an der Kervenflanke unabhängig vom Winkel α (vgl. Abb. 4)

h_N Kerventiefe

$f_{v,h,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit der Kerve

l_v Vorholzlänge

l_s Länge des Holzes zwischen den Kerven

Θ Druckstrebenwinkel

Für die Bestimmung der Bemessungswerte der Festigkeit sind die Modifikationsbeiwerte der einzelnen Materialien (also z.B. k_{mod} bzw. α_{cc} und nicht die kombinierten Modifikationsbeiwerte nach Gl. (2)) zu verwenden.
Zusätzlich zu diesen Versagensmodi soll eine abhebende Belastung angesetzt werden, die sich aus der Druckstrebenneigung ergibt.

$$F_{\perp,d} = \max\left(F_{\perp,d\,(GL.(5))};\ F_{E,d} \cdot \tan\Theta\right) \tag{12}$$

Die Lage der Abhebesicherung darf in gewissen Grenzen frei gewählt werden. Die Lage der Abhebesicherung ist dabei so abzustimmen, dass der Schnittpunkt der Druckstrebe mit dem Winkel Θ und der Schwerachse des Betonquerschnitts sich an der Abhebesicherung schneiden. Damit hängen der gewählte Druckstrebenneigungswinkel Θ und die Lage der Schraube unmittelbar voneinander ab (vgl. Abb. 4).

$$e_{Abhebesicherung} = \frac{h_{Beton} + h_N}{2 \cdot \tan\Theta} \tag{13}$$

$e_{Abhebesicherung}$ Abstand der Abhebesicherung von der belasteten Kervenflanke

h_{Beton} Dicke der Betonplatte

h_N Kerventiefe

Θ Druckstrebenwinkel

Der Druckstrebenwinkel darf in Gewissen frei gewählt werden, wobei sich der untere Grenzwert des Druckstrebenwinkels als Maximalwert der beiden folgenden Grenzen ergibt

– Verhinderung des Einschneidens der unbelasteten Kervenflanke in die Druckstrebe

$$\Theta_{min,1} = \arctan\left(\frac{h_N}{l_N}\right) \tag{14}$$

– Sicherstellung der Beanspruchung der Abhebesicherung «nur» durch eine Kerve

$$\Theta_{\min,2} = \arctan\left(\frac{h_N + h_{Beton}}{2 \cdot (l_N + l_v)}\right) \quad (15)$$

– untere Grenze des Druckstrebenwinkels

$$\Theta_{\min} = \max(\Theta_{\min,1}; \Theta_{\min,2}) \quad (16)$$

Wie aus Gl. (11) ersichtlich wird, beeinflusst der gewählte Druckstrebenwinkel die Tragfähigkeit der Kerve, wobei dieser Druckstrebenwinkel in gewissen Grenzen frei gewählt werden kann. Je geringer der Druckstrebenwinkel ist, desto kleiner ist die abhebende Komponente und desto weniger Schrauben werden notwendig. Parallel dazu sinkt allerdings auch die Tragfähigkeit der Verbindung. Wird als optimaler Druckstrebenwinkel Θ_{opt} derjenige Winkel bestimmt, bei dem die Tragfähigkeit der Kerve infolge Abscheren des Betons gleich der kleinsten Tragfähigkeit aus Abscheren des Vorholzes und Druckversagen des Betons bzw. des Holzes in der Kervenflanke ist.

$$\begin{aligned} F_{Rd,Abscheren\ Beton} &= f_{v,c,d} \cdot b \cdot l_N \\ &= F_{Rd,min,Ohne\ Abscheren\ Beton} \\ &= min \begin{cases} F_{Rd,Betondruck} = f_{cd} \cdot b_N \cdot h_N \\ F_{Rd,Abscheren\ Holz} = f_{v,h,d} \cdot b_N \cdot \min\left(\underbrace{l_v, l_s, 8 \cdot h_N}_{de\ facto\ 8 \cdot h_N}\right) \\ F_{Rd,Druckversagen\ Holz} = f_{h,0,d} \cdot b_N \cdot h_N \end{cases} \end{aligned} \quad (17)$$

Wird in diese Gleichung die «Schubfestigkeit» des Betons eingesetzt, kann der Druckstrebenwinkel bestimmt werden, bei dem nicht das Abscheren des Betons maßgebend wird.

$$\tan \Theta_{opt} = \frac{\nu \cdot f_{cd} \cdot b_N \cdot l_N - \sqrt{(\nu \cdot f_{cd} \cdot b_N \cdot l_N)^2 - 4 \cdot F^2_{Rd,min,Ohne\ Abscheren\ Beton}}}{2 \cdot F_{Rd,min,Ohne\ Abscheren\ Beton}} \geq 0.1 \quad (18)$$

Der Mindestwert von 0.1 ist aus Gl. (5) abgeleitet.
Anzumerken ist, dass aus der Auswertung von Versuchen teilweise die Rückschlüsse gezogen werden, dass Abhebesicherungen nicht notwendig wären. Dabei ist allerdings zu beachten, dass Versuche nur einen Ausschnitt der Realität darstellen und nicht zwingend alle Einflüsse berücksichtigt werden können. So werden im Versuch i.d.R. unplanmäßige Einspannungen durch aufsteigende Wände vernachlässigt und nur statische Belastungen aufgebracht. Ein «Herausarbeiten» der Kerve durch wiederholende Belastungen wird i.d.R. nicht erfasst. Weiterhin ist es im Versuch kaum möglich, die Zugfestigkeit des Betons komplett auszuschalten, obwohl für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen nach [4] Abs. 6.1.(2) keine Betonzugfestigkeit berücksichtigt wird. Auch werden die Versuche i.d.R. nach 28 Tagen durchgeführt, um das Verhalten bei der nominellen Festigkeit bestimmen zu können. Zu diesem Zeitpunkt ist z.B. bei einer 80mm dicken Betonplatte nur 20% der Schwinddehnung entstanden. Aus diesen Gründen wurden die experimentellen Untersuchungen mit analytischen Untersuchungen abgeglichen. Da allerdings die Kervenkraft außerhalb der Kernweite angreift, sind immer Zugspannungen im Beton vorhanden. Sollte [4] Abs. 6.1.(2) eingehalten werden und damit keine Zugspannungen im Beton angesetzt werden, ist daher die Abhebesicherung einzubauen. Sollten allerdings genauere Bemessungsmodelle vorliegen, dürfen diese prinzipiell nach [2] Abs. 10.3.4.3(3) angewandt werden.

6. Wesentliche Besonderheiten bei der Bemessung von Holz-Beton nach der Technical Specification im Hinblick auf das Langzeitverhalten

6.1. Allgemeines

Bei Holz-Beton-Verbunddecken sind alle beteiligten Werkstoffe einem Kriechverhalten unterworfen. Durch dieses zeitabhängige Verhalten nimmt die Verformung der Decke im Lauf der Zeit zu. Darüber hinaus werden Spannungen umgelagert, so dass das Kriechen nicht

nur aus Sicht der Gebrauchstauglichkeit, sondern auch im Nachweis der Tragfähigkeit berücksichtigt werden muss.
Die wesentlichen Unterschiede in [2] im Vergleich zu den üblicherweise verwendeten Zulassungen der Verbindungsmittel als Berechnungsrichtlinie sind
- Berücksichtigung eines zusätzlichen Zeitraums
- Berücksichtigung der Auswirkungen der Lastumlagerungen infolge Kriechen

Im Folgenden soll auf diese beiden Punkte näher eingegangen werden.

6.2. Maßgebende Zeitpunkte (oder «Steifigkeit zieht Kräfte an»)

Bei der Bemessung von Bauteilen, die ein ausgeprägtes Kriechverhalten aufweisen, werden i.d.R. die Zeitpunkte $t = 0$ und $t = \infty$ nachgewiesen, wobei der Zeitpunkt $t = 0$ derjenige Zeitpunkt ist, bei dem das Tragwerk erstmals mit der Bemessungslast belastet ist, und der Zeitpunkt $t = \infty$ im Hochbau der Zeitdauer nach 50 Jahren entspricht. Um das Kriechen in der Berechnung abzubilden, wird der E-Modul modifiziert

$$\mathrm{E_{kriechen}} = \frac{\mathrm{E_0}}{1 + \mathrm{k_{def}}} \tag{19}$$

$\mathrm{E_{kriechen}}$	effektiver E-Modul zur Berücksichtigung der Kriechverformung
$\mathrm{E_0}$	E-Modul ohne Kriechen, also zum Zeitpunkt $\mathrm{t} = 0$
$\mathrm{k_{def}}$	Deformationsfaktor bzw. Kriechzahl des Materials

Da Verbundkonstruktionen statisch unbestimmte Bauteile sind, wird die Belastung entsprechend dem Steifigkeitsverhältnis der Komponenten aufgeteilt. So bestimmt sich z.B. das Biegemoment beim γ-Verfahren durch

$$\mathrm{M_{Holz}} = \frac{\mathrm{E_H} \cdot \mathrm{J_H}}{\mathrm{E_v} \cdot \mathrm{J_{eff}}} \cdot \mathrm{M_{ges}} = \mathrm{n_{Holz}} \cdot \frac{\mathrm{J_H}}{\mathrm{J_{eff}}} \cdot \mathrm{M_{ges}} \tag{20}$$

Wird dieses Steifigkeitsverhältnis für das Langzeitverhalten ausgewertet, ergibt sich folgende Beziehung

$$\mathrm{n_{Holz}} = \frac{E_{Holz}}{E_{Beton}} \cdot \frac{1 + \varphi(t, t_0)}{1 + k_{def,Holz}(t)} = \frac{E_{Holz}}{E_{Beton}} \cdot \frac{1 + \varphi(t = \infty, t_0) \cdot f_{Beton}(t)}{1 + k_{def,Holz}(t = \infty) \cdot g_{Holz}(t)} \tag{21}$$

$\mathrm{n_{Holz}}$	Steifigkeitsverhältnis
$\varphi(t = \infty, t_0)$	Endkriechzahl des Betons
$k_{def,Holz}(t = \infty)$	Endkriechzahl des Holzes
$f_{Beton}(t)$	Zeitfunktion der Kriechzahl des Betons
$g_{Holz}(t)$	Zeitfunktion der Kriechzahl des Holzes

Damit hängt das Steifigkeitsverhältnis nicht nur vom jeweiligen E-Modul, sondern auch vom Verhältnis der jeweiligen Kriechzahl des Teilquerschnitts zum Zeitpunkt t ab. Weisen die beiden Querschnitte eine unterschiedliche Endkriechzahl, aber eine zeitlich affine Entwicklung wie z.B. beim Verbund zweier Betonbauteile auf ($g_{Holz}(t) = f_{Beton}(t)$) kann gezeigt werden, dass der Extremwert des Steifigkeitsverhältnisses und damit der Extremwert der Schnittgrößen bzw. Spannungen immer zu den Zeitpunkten $t = 0$ oder $t = \infty$ auftritt, sofern die Kriechzahl stetig ansteigt, indem sie z.B. asymptotisch gegen einen Grenzwert konvergiert.
Bei Holz-Beton-Verbundkonstruktionen haben beide Materialien sowohl unterschiedliche Endkriechzahlen als auch eine unterschiedliche zeitliche Entwicklung (vgl. Abb. 5).

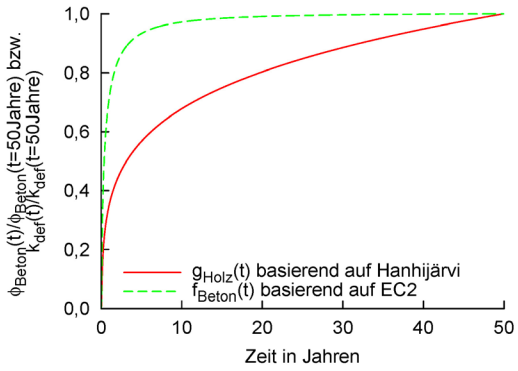


Abbildung 5: Zeitfunktionen der Kriechzahlen des Betons $f_{Beton}(t)$ und des Holzes $g_{Holz}(t)$

Werden die Verläufe der Kriechzahlen auf den Endwert normiert und gegenübergestellt, zeigt sich, dass innerhalb der ersten 3 bis 7 Jahre der Beton stärker kriecht als das Holz. Damit nimmt das Steifigkeitsverhältnis n_{Holz} in diesem Zeitraum zu (vgl. Abb. 6), so dass in dessen Folge insbesondere das Moment im Holzquerschnitt ebenfalls zunimmt.

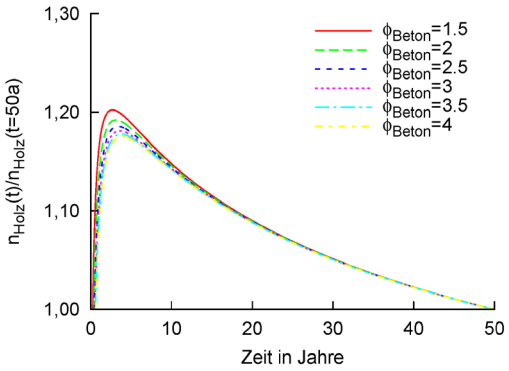


Abbildung 6: Verlauf des Verhältnisses der effektiven E-Moduli über die Zeit bezogen auf das Verhältnis nach 50 Jahren für eine Holz-Beton-Verbunddecke im Innern

Im Zeitraum von 3 bis 7 Jahren ist die Kriechzahlentwicklung beider Querschnitte annähernd konstant. Damit werden in diesem Zeitraum keine wesentlichen Schnittgrößen umgelagert. Nach diesem Zeitraum ist ein Großteil des Kriechens des Betons abgeschlossen, so dass das Holz wiederum stärker als der Beton kriecht und damit seine Belastungen auf den Beton umlagern kann.
Zusammenfassend ist es bei Holz-Beton-Verbundkonstruktionen also nicht immer ausreichend, den Spannungsnachweis «nur» zum Zeitpunkt $t = 0$ und $t = \infty$ durchzuführen, da sich auch Zwischenzustände infolge der unterschiedlichen zeitlichen Entwicklung als kritisch erweisen können.
Dieser zusätzliche Zeitpunkt stellt einen zusätzlich zu führenden statischen Nachweis dar. Wird die Holz-Beton-Verbunddecke allerdings im Gesamten betrachtet, zeigt sich, dass im eigentlichen Anwendungsbereich von Holz-Beton-Verbunddecken häufig der Verformungsnachweis maßgebend wird. Damit wird einerseits den Planenden ein weiterer Zeitpunkt «aufgebürdet», der aber andererseits häufig nur eine geringe Auswirkung auf die Abmessungen haben wird, da die Verformung die Querschnittshöhen bestimmt.
Im Rahmen der Entwicklung von [2] wurde der Einfluss dieses zusätzlichen Zeitpunkts untersucht. Das wesentliche Ergebnis ist, dass dieser kritischen Zwischenzustand im Intervall zwischen 3 und 7 Jahren nicht nachgewiesen werden muss, sofern der Nachweis zu den Zeitpunkten t = 0 und t = 50 Jahre mit einer um 25% erhöhten Spannung der ständig wirkenden Belastung eingehalten ist.

6.3. Kriechen

Um das zeitabhängige Verhalten der Verbunddecke zu beschreiben, werden die Kriechzahlen der jeweiligen Materialnorm verwendet. Diese Kriechzahlen sind dabei als das Verhältnis der Kriechverformung zur elastischen Verformung definiert.

$$k_{def} = \frac{w_{kriechen}}{w_{elastisch}} \tag{22}$$

k_{def} Materialkriechzahl
$w_{kriechen}$ Kriechverformung
$w_{elastisch}$ elastische (Ausgangs-) Verformung

Die Auswirkungen des Kriechens lässt sich durch eine Modifikation des E-Moduls erfassen:

$$E^{\star} = \frac{E}{1 + k_{def}} \tag{23}$$

Durch die Verwendung des mit der Kriechzahl modifizierten E-Moduls kann also der Endzustand direkt bestimmt werden, so dass die Schnittgrößen im Endzustand bestimmt werden können. Strenggenommen ist allerdings diese Berücksichtigung des Kriechens nur dann zulässig, wenn keine z.B. durch angrenzenden Bauteile behinderte Dehnung vorhanden ist.
Wird das Bauteil in seiner Kriechverformung komplett behindert, wird dies als Relaxation bezeichnet. In diesem Fall ist die gesamte Verformung konstant über die Zeit. Wird für diesen Fall der effektive E-Modul bestimmt, ergibt sich für die Relaxation ein effektiver E-Modul von

$$E^{\star} = \frac{E}{e^{k_{def}}} = \frac{E}{1 + \underbrace{\varphi_{Verbund}}_{e^{k_{def}-1}}} \tag{24}$$

Dieser weicht deutlich vom reinen Kriechfall ab (vgl. Abb. 7).

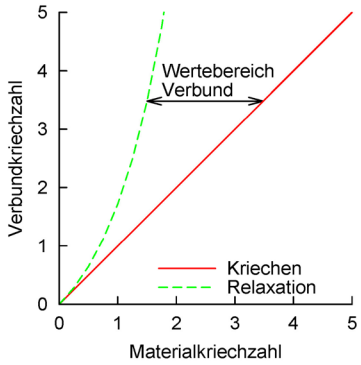


Abbildung 7: Wertebereich der effektiven Kriechzahl bei reinem Kriechen und Relaxation

In einem Holz-Beton-Verbundsystem werden allerdings die beiden Fälle «Kriechen» und «Relaxation» nicht erreicht. Weder handelt es sich um eine reine Kriechverformung, da die beiden Querschnittsteile Holz und Beton sich gegenseitig beeinflussen; noch handelt es sich um eine Relaxation, da die Steifigkeiten des Holz- bzw. Betonquerschnitts endliche Werte aufweisen und damit immer eine Verformung einhergehen wird. Dies hat zur Folge, dass sich die effektive Verbundkriechzahl zwischen der Kriechzahl des reinen Kriechens und der effektiven Kriechzahl bei Relaxation einstellt.
Dieses Phänomen tritt nicht nur im Holz-Beton-Verbundbau auf. [26] entwickelte eine Lösung für die Lastumlagerungen bei Betonbauteilen mit nachträglich aufgebrachten Betonen. [27] (siehe [28]) erweitert dieses Verfahren für den Holz-Beton-Verbund insbesondere hinsichtlich der Nachgiebigkeit in der Verbundfuge unter der Annahme einer verschmierten Verbindungsmittelsteifigkeit. In [18] wurde die unterschiedliche zeitliche Entwicklung berücksichtigt.
Damit erhält man Bestimmungsgleichungen für die effektive Kriechzahl φ_V beider Komponenten unter Berücksichtigung der Auswirkungen der Verbundtragwirkung, des Einflusses der unterschiedlichen zeitlichen Entwicklung und des Einflusses der Nachgiebigkeit in der Verbundfuge (vgl. [18] und Gl. (25)).

$$\Delta\varphi_{u,V,i} = \Delta\varphi_{u,M,i} \cdot \left(\frac{1 + \Delta\varphi_{w,M,i}}{\Delta\,\varphi_{w,M,i} - e^{-\Delta\psi_i} \cdot \left(\Delta\varphi_{w,M,i} - \Delta\psi_i\right)} - \frac{1}{\Delta\,\psi_i} \right) \quad (25)$$

φ_i Materialkriechzahl der Komponente *i*
ψ Systemkriechzahl

Allerdings sind diese Bestimmungsgleichungen für die Bemessung z.T. aufwendig, so dass Vereinfachungen angestrebt werden. Dazu wird in Anlehnung an [22] die Kriechzahl mit einem Beiwert ψ multipliziert (vgl. Tab. 2).

Um das Kriechen nun in der Schnittgrößenermittlung berücksichtigen zu können, wird also der E-Modul in der Berechnung durch folgende Beziehung ermittelt:

$$E_H(t) = \frac{E_0}{1 + \psi_H \cdot k_{def}} \quad (26)$$

$$E_B(t) = \frac{E_0(t_{Belastung})}{1 + \psi_B \cdot \varphi} \quad (27)$$

$$K = \frac{K_0}{1 + \psi_{VBM} \cdot k'_{def}} \quad (28)$$

Die effektive Kriechzahl des Verbindungsmittels bestimmt sich zu

$$k'_{def} = 2 \cdot k_{def} \quad (29)$$

k'_{def} effektive Kriechzahl des Verbindungsmittels
k_{def} Endkriechzahl des Holzes

Tabelle 2: Verbundfaktoren zur Ermittlung der Verbundkriechzahl für Deckensysteme (bH = bB, 1/5 < AB,eff/AH < 1) und für Balken (bH << bB; 1 < AB,eff/AH < 5)

Beton $\varphi = 3,5;\ k_{def} = 0,6$	
$\psi_B(t = 3-7a)$	$= 2,5 - \gamma_1^{1,1}$
$\psi_B(t = \infty)$	$= 2,6 - 0,8\gamma_1^2$
Beton $\varphi = 3,5;\ k_{def} = 0,8$	
$\psi_B(t = 3-7a)$	$= 2,2 - 0,8 \cdot \gamma_1^{1,2}$
$\psi_B(t = \infty)$	$= 2,3 - 0,5\gamma_1^{2,6}$
Beton $\varphi = 2,5;\ k_{def} = 0,6$	
$\psi_B(t = 3-7a)$	$= 1,9 - 0,6 \cdot \gamma_1^{1,1}$
$\psi_B(t = \infty)$	$= 2,0 - 0,5\gamma_1^{1,9}$
Beton $\varphi = 2,5;\ k_{def} = 0,8$	
$\psi_B(t = 3-7a)$	$= 1,7 - 0,5 \cdot \gamma_1^{1,1}$
$\psi_B(t = \infty)$	$= 1,8 - 0,3\gamma_1^{2,5}$
Holz in allen Fällen	
$\psi_H(t = 3-7a)$	$= 0,5$
$\psi_H(t = \infty)$	$= 1,0$
Verbindung in allen Fällen	
$\psi_{VBM}(t = 3-7a)$	$= 0,65$
$\psi_{VBN}(t = \infty)$	$= 1,0$

Für den Zeitpunkt $t = 0$ sind alle ψ-Werte zu 0 zu setzen.

Die Vergrößerung der Kriechzahl bei den Verbindungsmittel um den Faktor 2 beruht auf der Tatsache, dass lokal eine höhere Beanspruchung im Bereich der Verbindungsmittel auftreten kann, so dass hier größere Verformungen auftreten.
Da Kriechen und Schwinden sich gegenseitig beeinflussen können, bzw. die Auswirkungen des Schwindens durch das Kriechen teilweise reduziert werden, darf entsprechend [2] das Schwinden des Betons für den Zeitpunkt 3 bis 7 Jahre auf 60% und für den Endzeitpunkt auf 90% reduziert werden. Als Schwindbeginn ist auch im Fall der Herstellung der Decke auf einer Schalung bzw. Rüstung immer der Zeitpunkt des Endes der Nachbehandlung. Hintergrund dafür ist, dass die Schwinddehnung Eigenspannungen erzeugt, die nicht durch Kriechen innerhalb des Zeitraums der Lagerung nennenswert abgebaut werden können. Damit hat der Herstellungsablauf für die Schwinddehnung keine größeren Auswirkungen.

7. Bemessungsablauf

In Abb. 8 und Abb. 9 ist der Bemessungsablauf im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bzw. im Grenzzustand der Tragfähigkeit dargestellt, wobei die wesentlichen Neuerungen von [2] im Vergleich zu einer Bemessung nach Zulassung in rot markiert sind.

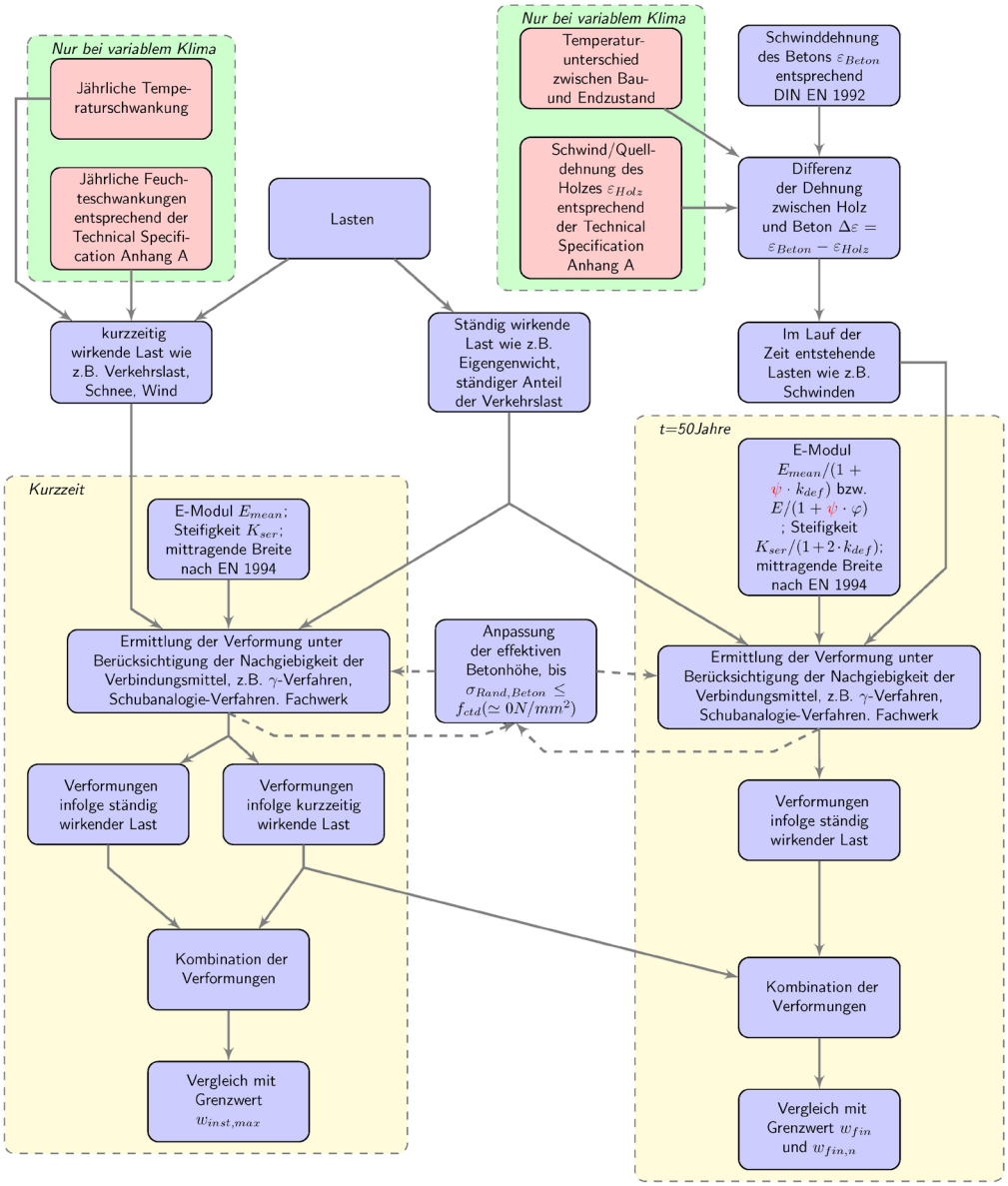


Abbildung 8: Bemessungsablauf für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im Vergleich zu einer Bemessung von reinen Holzbauteilen ist ein wesentlicher Unterschied, dass Belastungen in kriecherzeugende Belastungen und kurzzeitig wirkende Belastungen aufgeteilt werden. Für diese beiden Gruppen werden die Spannungen und Verformungen getrennt berechnet. Lediglich die Schnittgrößen der kriecherzeugenden Belastungen sind mit den Steifigkeiten zum Zeitpunkt t =3 bis 7 Jahre bzw. t = 50 Jahre zu berechnen. Nach der Schnittgrößenermittlung mit den u.U. unterschiedlichen Steifigkeiten werden die Schnittgrößen der beiden Gruppen überlagert und der Nachweis geführt.

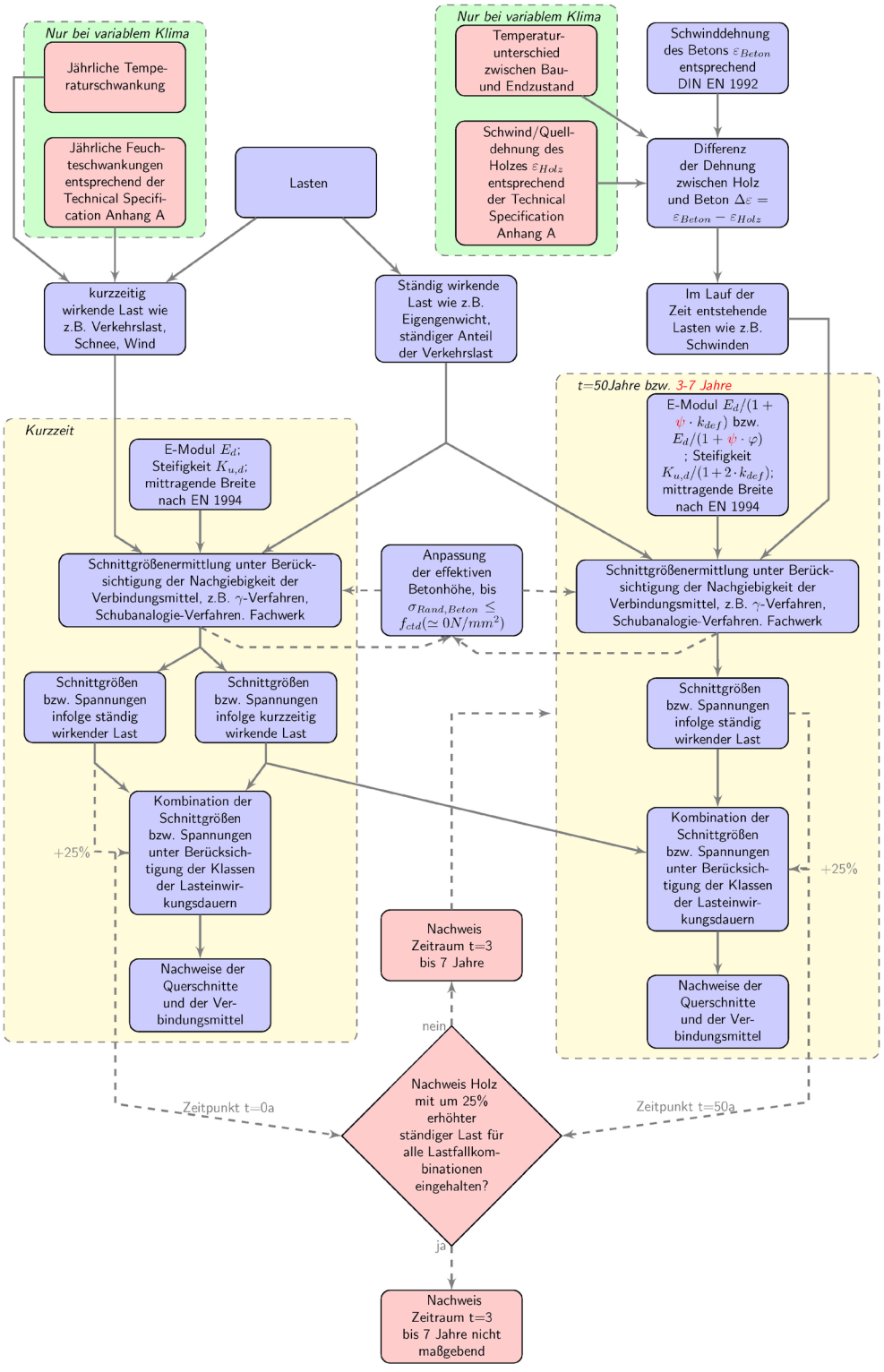


Abbildung 9: Bemessungsablauf für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

8. Zusammenfassung und Ausblick

Die Holz-Beton-Verbundbauweise wurde bereits vielfach untersucht und auch angewendet. So sind einige Verbindungsmittel mittlerweile zugelassen, so dass einer Anwendung von Holz-Beton-Verbund auf Basis dieser Zulassungen nichts im Wege steht. Um allerdings eine von den Zulassungen losgelöste Anwendung zu ermöglichen, ist mit der nächsten Generation der Eurocodes daran gedacht, den Holz-Beton-Verbundbau normativ zu erfassen. Dazu wurde [2] als Technical Specification erstellt. Diese Technical Specification kann als Basis für einen zukünftigen Normenteil dienen. [2] unterscheidet sich im Vergleich zu den üblicherweise vorhandenen Regelungen der Zulassungen im Wesentlichen in folgenden Punkten

- Einwirkung: In [2] werden die Einwirkungen infolge unterschiedlicher Ausdehnung z.B. durch Temperaturänderung und/oder Feuchteänderungen explizit bestimmt. Damit kann die Bemessung der Bauteile auf die jeweiligen Randbedingungen angepasst werden. Die dafür notwendigen Teilsicherheitsbeiwerte und Modifikationsfaktoren sind gegeben.
- Berechnungsverfahren: Ein häufig verwendetes Berechnungsverfahren zur Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel im Verbundträger ist das sog. γ-Verfahren, das in [3] Anhang B geregelt ist. Allerdings kann in diesem Verfahren nicht die unterschiedlichen Dehnungen infolge Schwinden, Feuchteänderung und/oder Temperatur abgebildet werden. Daher wird eine Erweiterung dieses Verfahrens eingeführt, bei dem diese Dehnungen in eine Ersatzlast umgewandelt werden können
- Verbindungsmittel: In [2] sind im 90° zur Fuge eingebaute, stiftförmige Verbindungsmittel auf Abscheren und Kerven geregelt. Die Kennwerte für die Berechnung wie Verschiebungsmodul und Tragfähigkeit sind zusammengestellt.
- Langzeitverhalten: Im Hinblick auf das Langzeitverhalten sind u.U. ein zusätzlicher Zeitraum nachzuweisen und die Auswirkungen der Lastumlagerungen auf die effektive Kriechzahl zu berücksichtigen.

9. Literatur

[1] JUNG, P.: Holz-Beton-Verbunddecken in der Praxis und ihre Wirtschaftlichkeit. In: *Holz-Beton-Verbunddecken in Theorie und Praxis*, Hrsg.: Bau und Wissen, CH-Wildegg, 2012

[2] DIN CEN/TS 19103: *Eurocode 5: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Berechnung von Holz-Beton-Verbundbauteilen – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung CEN/TS 19103:2021*. 2022

[3] DIN EN 1995-1-1: *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines- Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2010

[4] DIN EN 1992-1-1: 2010: *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spann-betontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010*. DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2010

[5] DIN EN 1995-2 / NA: 2011 – 08: *Nationaler Anhang – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 2: Brücken*. DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2011

[6] DIN EN 1991-1-1: 2010 – 12: *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*. DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2010

[7] DIN EN 1991-1-5: 2010 – 12: *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen, Temperatureinwirkungen*. DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2010

[8] DIN EN 1995-1-1 / NA: 2013: *Nationaler Anhang – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines- Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2013

[9] DIN EN 1990: *Eurocode 0: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*. EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010

[10] FRIES, J.: *Beitrag zum Tragverhalten von Flachdecken mit Hutprofilen*, Institut für Konstruktion und Entwurf Universität Stuttgart (Mitteilung 2001-1), Dissertation, Dezember 2001

[11] DABAON, M.; TSCHEMMERNEGG, F. ; HASSEN, K. ; LATEEF, T. A.: Zur Tragfähigkeit von Verbundträgern bei teilweiser Verdübelung. In: *Stahlbau* 62 (1993), S. 3–9

[12] KREUZINGER, H.: Flächentragwerke: Platten, Scheiben und Schalen; Berechnungsmethoden und Beispiele. In: *Brücken aus Holz* (1999), S. 43–60

[13] SCHOLZ, A.: Eigenspannungszustände an Verbundquerschnitten infolge von Dehnungsunterschieden Anwendung eines neueren Rechenverfahrens auf einem bewährten Lösungsansatz. In: *Bautechnik* 81 (2004), März, Nr. 3, S. 180–188

[14] SCHOLZ, A.: *Ein Beitrag zur Berechnung von Flächentragwerken aus Holz*, TU München, Diss., 2003

[15] GROSSE, M.; HARTNACK, R. ; LEHMANN, S. ; RAUTENSTRAUCH, K.: Modellierung von diskontinuierlich verbundenen Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. In: *Bautechnik* 80 (2003), S. 534–541 und 693–701

[16] MICHELFELDER, B.: *Trag- und Verformungsverhalten von Kerven bei Brettstapel-Beton-Verbunddecken*, Universität Suttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf, Dissertation, 2006. http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:93-opus-28911

[17] SCHÄNZLIN, J.; FRAGIACOMO, M.: Extension of EC5-Annex B formulas for the design of timber-concrete compositestructures. In: *CIB-40-10-1*, 2007 (International council for research and innovation in building and construction– working commission W 18 – timber structures)

[18] SCHÄNZLIN, J.: *Zum Langzeitverhalten von Brettstapel-Beton-Verbunddecken*, Institut für Konstruktion und Entwurf, Universität Stuttgart, Dissertation, 2003

[19] DIAS, A.; FRAGIAOCOMO, M. ; HARRIS, R. ; KUKLIC, P. ; RAJICIC, V. ; SCHÄNZLIN, J.: Technical Specification – Final Draft – Eurocode 5: Design of Timber Structures - Part 1-3: Structural design of timber concrete composite structures / Project Team CEN/TC 250-SC5.T2. 2018. – Forschungsbericht

[20] DIAS, A.; FRAGIAOCOMO, M. ; HARRIS, R. ; KUKLIC, P. ; RAJICIC, V. ; SCHÄNZLIN, J.: Hintergrundbericht zur Technical Specification – Final Draft - Eurocode 5: Design of Timber Structures – Part 1-3: Structural design of timber concrete composite structures / Project Team CEN/TC 250-SC5.T2. 2018. – Forschungsbericht

[21] DIAS, A. (Hrsg.) ; SCHÄNZLIN, J. (Hrsg.) ; DIETSCH, P. (Hrsg.): *Design of timber-concrete composite structures: A state-of-the-art report by COST Action FP1402 / WG 4*. Shaker Verlag Aachen, 2018 https://www.costfp1402.tum.de/home/

[22] DIN EN 1994-1-1: 2010: *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1994-1-1:2004 + AC:2009*. DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2010

[23] DIN EN 1995-2: 2010: *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 2: Brücken*. DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2010

[24] JOHANSEN, K. W.: *Theory of timber connections*. 1949

[25] KUDLA, K.: *Kerven als Verbindungsmittel für Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken*, Institut für Konstruktion und Entwurf, Diss., 2017

[26] KUPFER, H.; KIRMAIR, H.: Verformungsmoduln zur Berechnung statisch unbestimmter Systeme aus zwei Komponenten mit unterschiedlichen Kriechzahlen. In: *Bauingenieur* 62 (1987), S. 371–377

[27] KREUZINGER, H.: *Verbundkonstruktionen Holz / Beton*. 1994

[28] BLASS, H.-J.; EHLBECK, J. ; LINDEN, M. v. d. ; SCHLAGER, M.: *Trag- und Verformungsverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen*. 1995 (T2710)

Brettsperrholz, LVL und GLVL – die neuen EC5 Materialoptionen

Tobias Wiegand
Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.
Wuppertal, Deutschland



Brettsperrholz, LVL und GLVL – die neuen EC5 Materialoptionen

1. CEN/TC 250 SC 5 WG 1 «Brettsperrholz & Weiteres»

CEN/TC 250 SC 5 WG 1 ist eine von mittlerweile elf Arbeitsgruppen, die den neuen Eurocode 5 geschrieben haben. Ursprünglich mit der Entwicklung von (Kalt-)Bemessungsregeln für Brettsperrholz beauftragt, werden in WG 1 zwischenzeitlich folgende Themen und Produkte behandelt:

- Bemessungsregeln für Brettsperrholz (CLT);
- Bemessungsregeln für Furnierschichtholz (LVL) sowie Mehrfach verklebtes Furnierschichtholz (GLVL);
- Bemessungsregeln für Mehrschichtplatten (SWP);
- Bemessungsregeln für softboards (SB) als aussteifende Platten;
- Dauerhaftigkeit von Holzprodukten (prEN 1995-1-1:2023, 6.1 und 6.2);
- Systemfestigkeit (prEN 1995-1-1:2023, 8.4);
- Horizontalverformungen von Schubwänden (prEN 1995-1-1:2023, Anhang R).

WG 1 hat für CLT, LVL, GLVL, SWP und SB Bemessungsregeln für verschiedene Abschnitte der prEN 1995-1-1:2023 [1] erarbeitet, die in der Nachfolge von anderen WGs überarbeitet wurden. So wurden z.B. Vorschläge für die Schwingungsbemessung von Brettsperrholzdecken in einen allgemeinen Abschnitt Schwingungen integriert.

Für die Kaltbemessung von CLT basieren die Vorschläge der WG 1 i.W. auf die Vorarbeiten des Projekt Teams SC 5.T1.

In diesem Beitrag soll nur auf CLT, LVL und GLVL eingegangen werden.

Eine umfassendere Darstellung findet sich in [2].

2. Brettsperrholz (CLT)

2.1. Produktregel und Materialkennwerte

Mit EN 16351: 2021 liegt mittlerweile die zweite Fassung einer europäischen Produktnorm für Brettsperrholz vor. Die Norm wird derzeit erneut überarbeitet. Weiterhin ist EN 16351 [3] aber nicht im Offiziellen Amtsblatt der EU zitiert und können Produkte nicht auf Basis dieser Norm mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet werden.

CLT bleibt daher über europäisch technische Bewertungen (ETA) auf Basis des EAD 130005-00-0305 [4] oder nationale Verwendbarkeitsnachweise geregelt.

Trotz des Fehlens einer harmonisierten Produktnorm (hEN) enthält prEN 1995-1-1:2023 aber viele allgemeingültige Kennwerte für CLT wie:

- Modifikationswerte k_{mod};
- Verformungsfaktoren k_{def}; sowie
- Quell- und Schwindbeiwerte.

Es wird davon ausgegangen, dass sich Festigkeitswerte für CLT auf einen Referenzquerschnitt nach Abbildung 1 beziehen. Der Normentwurf enthält eine Formel zur Abminderung der Festigkeit bei geringeren Breiten, sofern entsprechende Vorgaben nicht der jeweiligen ETA entnommen werden können.

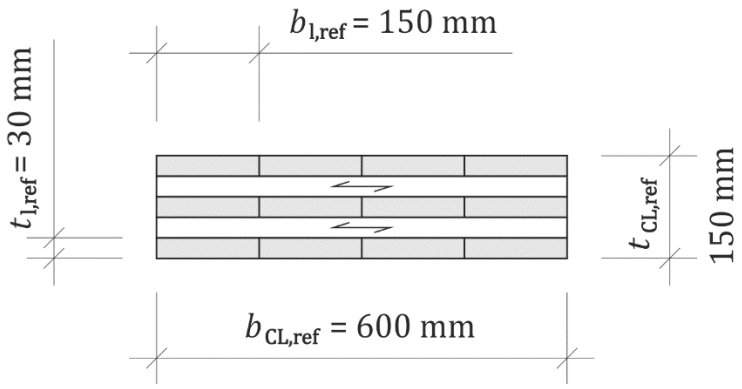


Abbildung 1: Referenzquerschnitt CLT

prEN 1995-1-1:2023 enthält im Anhang N eine Tabelle mit einer Festigkeitsklasse CL 24. Die Werte dieser Klasse entsprechen denen der gleichnamigen Klasse des BS-Holz-Merkblattes [5] und stellen die jeweils kleinsten Werte dar, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung von [5] in Europa deklariert wurden, siehe auch Abbildung 2.

Property		Symbol	Cross laminated timber built up from boards: graded in tension – Value	Cross laminated timber built up from boards: graded in bending – Value	Values for Layers of class C 24 or T 14 [kN/m²]	Class CL 24 according to [4] [kN/m²]	Class CL 24 according to prEN 1995-1-1 [kN/m²]
Bending strength	out of plane	$f_{m,k}$	$3{,}2\ f_{t,0,l,k}^{0,8}$	$1{,}1\ f_{m,l,k}$	26,4	24	24
	in plane	$f_{m,edge,k}$	$f_{m,l,k}$		20,5[1)]	20,5[1)]	20,5[1)]
Tensile strength	in plane	$f_{t,0,k}$[2)]	$1{,}2\ f_{t,0,l,k}$		17,4	14,5	14,5
	perpendicular to plane	$f_{t,90,k}$[2)]	$f_{t,90,l,k}$		0,4	0,4	0,12
Compression strength	in plane	$f_{c,0,k}$	$3{,}2\ f_{t,0,l,k}^{0,8}$	$1{,}1\ f_{m,l,k}$	26,4	21	21
	perpendicular to plane	$f_{c,90,k}$	$f_{c,90,l,k}$		2,5	2,5	2,5
Shear strength	out of plane	$f_{v,k}$	3,50		3,5	3,5	3,5
	rolling shear	$f_{r,k}$	$min.\begin{cases} 0{,}2 + 0{,}3\frac{b_l}{t_l}^{3)} \\ 1{,}1 \end{cases}$		Abhängig von b_l/t_l	0,7	0,7

[1)] Unless a higher value is given in the DoP.

Abbildung 2: Bestimmung von CLT-Kennwerten aus Lamelleneigenschaften und Festigkeitsklassen (Auszug)

Es sei darauf hingewiesen, dass bei der laufenden Überarbeitung der EN 16351 [2] die Ermittlung von Festigkeitswerten für CLT aus den Eigenschaften der Vollholzlagen (ursprünglich für prEN 1995-1-1:2023 erarbeitet) aufgenommen werden wird. Mit diesen Formeln lassen sich zukünftig bei gleichen Eigenschaften der Vollholzlagen höhere Festigkeitswerte deklarieren.

Es werden für die Bemessung erforderliche, in Leistungserklärungen aber üblicherweise nicht enthaltene Kennwerte wie die charakteristische Torsionsschubfestigkeit des Überkreuzungsbereiches $f_{tor,node,k}$ geregelt.

2.2. Ausgewählte Nachweise nach prEN 1995-1-1

prEN 1995-1-1:2023 legt zukünftig in allen Abschnitten explizit fest, für welche Materialien die jeweiligen Nachweise anwendbar sind.

Für ausschließlich aus Vollholzlagen hergestelltes CLT sollten für die Bemessung nur die Lagen angesetzt werden, deren Faserrichtung parallel zur Lastrichtung verläuft.

prEN 1995-1-1: 2023 legt fest, dass übliche Fugen und Nuten in Vollholzlagen von CLT nicht als Schwächungen zu betrachten sind. Der Fachverband Holz, Wien, konnte durch umfangreiche Messungen den Medianwert der Fugenbreite zu etwa 0,6 mm bestimmen.

Hinsichtlich der anzusetzenden Imperfektionen wird CLT wie BS-Holz behandelt.

Für den Querdrucknachweis wird zukünftig ein Materialbeiwert k_{mat} für die verschiedenen Verformungsniveaus und ein Faktor $k_{c,90}$ für die Lastausbreitung benötigt. Trotz der Vielfalt möglicher Querschnittsaufbauten und Lastpositionen auf einer CLT Fläche konnte ein Lastausbreitungswinkel von 35^0 in beiden Haupttragrichtungen und durch alle Lagen als konservative Abschätzung für CLT mit Dickenverhältnissen der Lagen von $1 \leq t_{l,max}/t_{l,min} \leq 2$ gefunden werden.

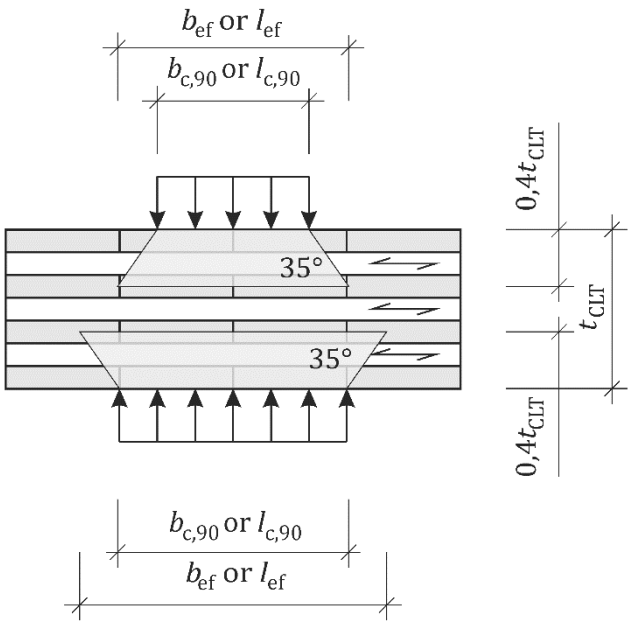


Abbildung 3: Lastausbreitung Querdruckspannungen in CLT

prEN 1995-1-1:2023, 11, enthält nach Materialien differenzierte Vorgaben für Verbindungsmittelabstände und -durchmesser.

Für schubbeanspruchte Wandbauteile wird zukünftig zwischen monolithischen und segmentierten CLT-Bauteilen differenziert. Die Segmentierung ist aufgrund der größeren Energiedissipation in den Elementfugen vor Allem in Regionen mit Starkbeben von Interesse.

Die Ermittlung der Horizontalverformungen von schubbeanspruchten Wänden in mehrgeschossigen Gebäuden nach prEN 1995-1-1:2023 wurde ebenfalls vor Allem für die Belange der Erdbebenbemessung entwickelt. Der Anhang erlaubt aber auch den Nachweis windinduzierter Verformungen. Für den Anhang R steht eine Ausweitung der Anwendbarkeit auf segmentierte CLT-Schubwände noch aus.

In prEN 1995-1-1: 2023, Anhang D sind seltener benötigte Nachweise für CLT gesammelt. Der Anhang enthält:

- Durchstanznachweise für unverstärktes und gegen Schubversagen verstärktes CLT
- Regeln für die Ermittlung der mitwirkenden Breiten für durch Einzellasten beanspruchte CLT-Wandscheiben ohne oder mit Öffnungen; und
- Regeln für Rippenplatten mit CLT-Platten.

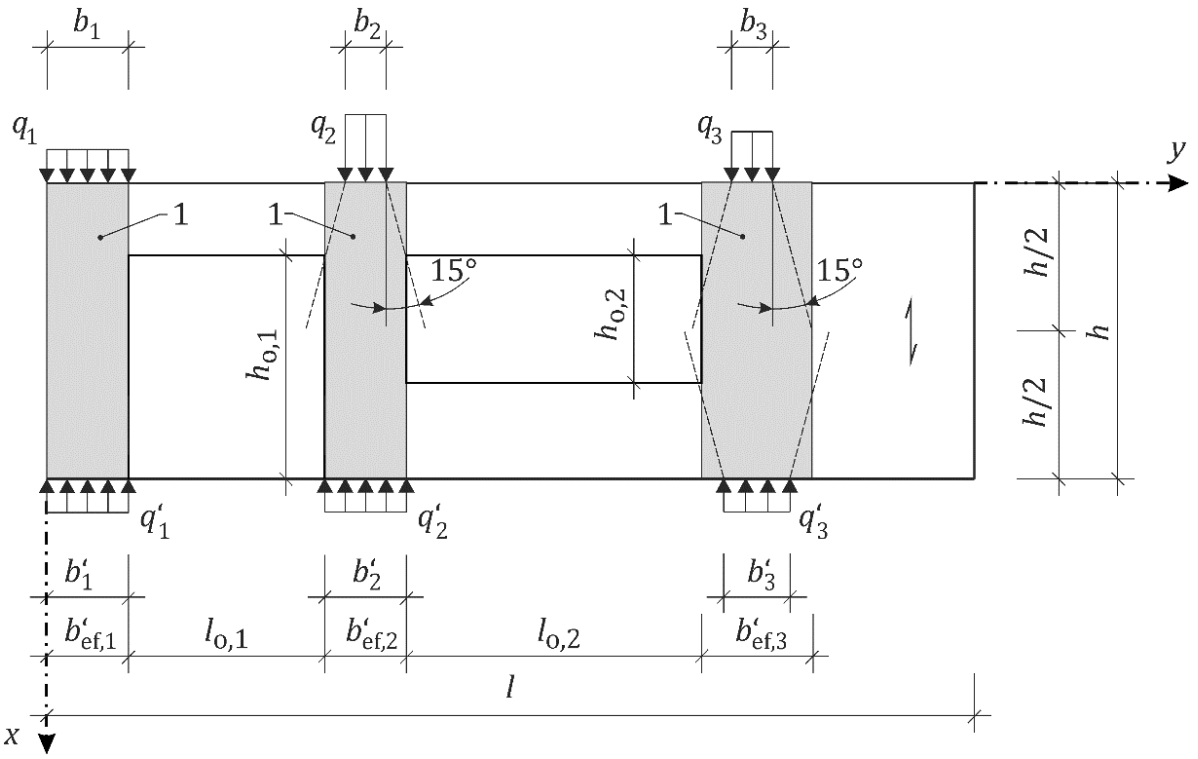


Abbildung 4: Lastausbreitung in CLT Wänden mit Öffnungen

Für die Brandbemessung ist nach prEN 1995-1-2:2023 [6] für CLT und andere Produkte mit Flächenklebungen ein Nachweis der Klebfugenintegrität im Brandfall nach Anhang B der Norm zu führen. Ausgenommen sind die für CLT unüblichen Phenolresorcinharze. Wird der Nachweis nicht erbracht, so ist anstelle eines linearen Abbrandes das sogenannte Treppenmodell anzusetzen. Weiterhin wird diskutiert, ob der Nachweis nach Anhang B durch eine Scherprüfung des Klebstoffes bei erhöhten Temperaturen ersetzt werden kann.

Der Feuerwiderstand R kann nach prEN 1995-1-2 sowohl für Klebstoffe mit oder ohne Nachweis der Klebfugenintegrität im Brandfall auch tabellarisch geführt werden.

3. Furnierschichtholz (LVL) und mehrfach verklebtes Furnierschichtholz (GLVL)

3.1. Produktregel und Materialkennwerte

Eine im Jahr 2020 inhaltlich fertig gestellte neue Fassung der harmonisierten Produktnorm für LVL (EN 14374 [7]) sollte u.a. Regelungen für GLVL und Festigkeitsklassen für Furnierschichtholz ohne oder mit Querlagen enthalten. Da keine Möglichkeit zu einer Harmonisierung bestand, wurde der Normentwurf nicht fertig gestellt.

LVL Merkblatt
September 2020

Ingenieur Holzbau.de

Finnish Woodworking Industries

Seite 5/8

Tabelle 3:
Furnierschichtholz mit Querfurnieren (LVL-C)

	Eigenschaft [a]	Symbol	Einheit	Festigkeitsklasse LVL 22 C	LVL 25 C	LVL 32 C	LVL 36 C	LVL 70 C	LVL 75 C
Biegefestigkeit	Hochkant, parallel zur Faser (Tiefe 300 mm)	$f_{m,0,edge,k}$	N/mm²	19	20	28	32	54	60
	Flachkant-, parallel zur Faser	$f_{m,0,flat,k}$	N/mm²	22	25	32	36	70	75
	Größeneffekt-Parameter	s	–	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Flachkant-, rechtwinklig zur Faser	$f_{m,90,flat,k}$	N/mm²	MDV [c]	MDV [c]	7	8	32	20
Zugfestigkeit	Parallel zur Faser (Länge 3 000 mm)	$f_{t,0,k}$	N/mm²	14	15	18	22	45	51
	Rechtwinklig zur Faser, hochkant	$f_{t,90,edge,k}$	N/mm²	4	4	5	5	16	8
Druckfestigkeit	Parallel zur Faser für Nutzungsklasse 1	$f_{c,0,k}$	N/mm²	18	18	18	26	54	64
	Parallel zur Faser für Nutzungsklasse 2 [b]	$f_{c,0,k}$	N/mm²	15	15	15	21	45	53
	Hochkant, rechtwinklig zur Faser	$f_{c,90,edge,k}$	N/mm²	8	8	9	9	45	23
	Flachkant, rechtwinklig zur Faser (außer Kiefer)	$f_{c,90,flat,k}$	N/mm²	1,0	1,0	2,2	2,2	16	16
	Flachkant, rechtwinklig zur Faser, Kiefer	$f_{c,90,flat,k,pine}$	N/mm²	MDV [c]	MDV [c]	3,5	3,5	– [d]	– [d]
Scherfestigkeit	Hochkant parallel zur Faser	$f_{v,0,edge,k}$	N/mm²	3,6	3,6	4,5	4,5	7,8	7,8
	Flachkant, parallel zur Faser	$f_{v,0,flat,k}$	N/mm²	1,1	1,1	1,3	1,3	3,8	3,8
	Flachkant, rechtwinklig zur Faser	$f_{v,90,flat,k}$	N/mm²	MDV [c]	MDV [c]	0,6	0,6	MDV [c]	MDV [c]
stizitätsmodul	Hochkant, parallel zur Faser	$E_{0,mean}$ [e]	N/mm²	6 700	7 200	10 000	10 500	11 800	13200
	Hochkant, parallel zur Faser	$E_{0,k}$ [f]	N/mm²	5 500	6 000	8 300	8 800	10 900	12200
	Hochkant, rechtwinklig zur Faser	$E_{c,90,edge,mean}$ [i]	N/mm²	MDV [c]	MDV [c]	2 400	2 400	MDV [c]	MDV [c]

Abbildung 5: Auszug Festigkeitsklassen LVL-C

LVL für tragende Zwecke ist nach EN 14374 [7] herzustellen. Es sei darauf hingewiesen, dass LVL nach EN 13986 [8] mit EN 14279 [9] nicht für tragende Zwecke verwendet werden kann und daher auch nicht in prEN 1995-1-1 in Bezug genommen wird.

Für GLVL bleibt es bis auf Weiteres bei ETAs auf Basis des EAD 130010-00-0304 [10] (für Buche) oder EAD 130337-00-0304 [11] (für Nadelholz) geregelt.

Neben Modifikationswerten k_{mod} enthält prEN 1995-1-1:2023 nach Lastrichtung und Produkt (LVL oder GLVL) differenzierte Verformungsfaktoren k_{def} sowie Quell- und Schwindbeiwerte.

Aufgrund der unterschiedlichen Produktabmessungen gibt es für GLVL neben dem Höhenbeiwert s für Hochkantbiegung und Zug auch Höhenbeiwerte für Flachkantbiegung und -schub $s_{v,flat}$ und $s_{m,flat}$ mit zugehörigen Referenzhöhen oder -längen, die der jeweiligen Leistungserklärung oder prEN 1995-1-1;2023 entnommen werden können.

Gemäß prEN 1995-1-1 ist für in Nutzungsklasse 2 und 3 verbautes LVL oder GLVL die Druckfestigkeit um 17% abzumindern, da diese Festigkeit nach EN 14374 in NKL 1 Bedingungen ermittelt wird.

prEN 1995-1-1:2023 enthält im Anhang N eine Tabelle mit Festigkeitsklassen für Furnierschichtholz mit oder ohne Querlagen (LVL-C oder LVL-P), die ursprünglich Bestandteil der überarbeiteten EN 14374 werden sollte. Die Werte entsprechen denen des LVL-Merkblattes [12], siehe Abbildung 5.

3.2. Ausgewählte Nachweise nach prEN 1995-1-1

Hinsichtlich der anzusetzenden Imperfektionen werden LVL und GLVL wie BS-Holz behandelt.

Für den Querdrucknachweis enthält prEN 1995-1-1:2023 für LVL und GLVL nach Produktaufbau (mit oder ohne Querlagen) und Lastrichtung differenzierte Beiwerte k_{mat}.

prEN 1995-1-1:2023 enthält Regelungen für Bauteile aus LVL und GLVL mit veränderlicher Geometrie. Parameter für Ausklinkungen in LVL und GLVL wurden ermittelt. Die Anwendung der Regeln für Durchbrüche auch für LVL und GLVL wurde verifiziert (siehe auch Vortrag von Prof. Dietsch).

LVL kann als außenliegende streifen- oder plattenförmige Querzug- und/oder Schubverstärkung angesetzt werden. Ausführungsregeln können prEN 1995-3:2023 [13] entnommen werden.

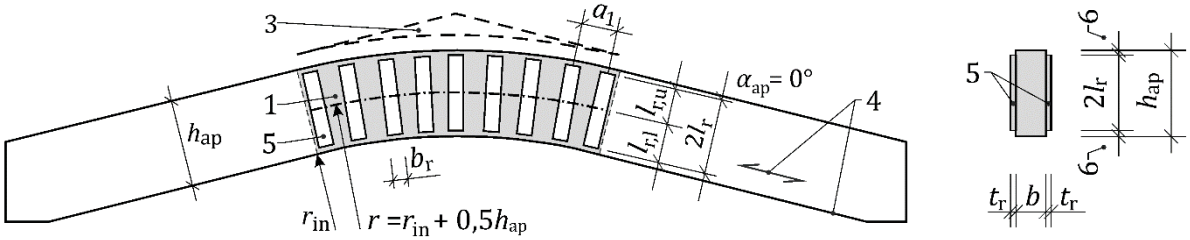


Abbildung 6: Bauteil mit streifenförmiger Verstärkung

prEN 1995-1-1:2023, 11, enthält nach Materialien differenzierte Vorgaben für Verbindungsmittelabstände und -durchmesser. Für die Befestigung in Schmalseiten von LVL und GLVL mit stiftförmigen Verbindungsmitteln geringen Durchmessers wurden Untersuchungen durchgeführt, die noch nicht berücksichtigt wurden. prEN 1995-1-1:2023 regelt auch die Bemessung von axial und/oder quer zur Faser beanspruchten eingeklebten Stahlstangen in LVL und GLVL.

Anhang R zur Ermittlung von Horizontalverformungen von Schubwänden ist auch für Holzmassivelemente aus LVL oder GLVL anwendbar.

4. Bildquellen

Abbildung 1: Ulrich Hübner, Wien

Abbildung 2: Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., Wuppertal

Abbildungen 3 und 4: Ulrich Hübner, Wien, und Tobias Wiegand, Wuppertal

Abbildung 5: Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., Wuppertal und Fachverband Holzindustrie, Wien

Abbildung 6: Philipp Dietsch, Karlsruhe

5. Zitierte Literatur

[1] prEN 1995-1-1:2023, *Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*

[2] Dietsch, P., Schickhofer, G, Brunauer, A., Tomasi, R., Hübner, U., Krenn, H., Mestek, P., Moosbrugger, T., Wiegand, T.; *Eurocode 5:2022 – Einführung in die neuen Abschnitte Brettsperrholz und Verstärkungen*, Karlsruher Tage – Forschung für die Praxis, 2018.

[3] EN 16351, *Holzbauwerke – Brettsperrholz – Anforderungen*

[4] EAD 130005-00-0304, *Solid wood slab element to be used as a structural element in buildings*

[5] *Brettsperrholz Merkblatt*, 5. Auflage, Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. und Fachverband Holzindustrie Österreich, 2023

[6] prEN 1995-1-2:2023, *Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall*

[7] EN 14374, *Holzbauwerke – Furnierschichtholz für tragende Zwecke – Anforderungen*

[8] EN 13986, *Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung*

[9] EN 14279, *Furnierschichtholz (LVL) - Definitionen, Klassifizierung und Spezifikationen*

[10] EAD 130010-00-0304, *Glued laminated timber made of hardwood – Structural laminated veneer lumber made of beech*

[11] EAD 130337-00-0304, *Glued laminated LVL*

[12] *Furnierschichtholzmerkblatt (LVL)*, 2. Auflage, Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. und Finnish woodworking industry, 2020

[13] prEN 1995-3, *Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 3: Ausführung*

Bemessung von Durchbrüchen – erweiterte Möglichkeiten mit dem neuen Eurocode 5

Philipp Dietsch
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Karlsruhe, Deutschland



Martin Danzer
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München
München, Deutschland



Bemessung von Durchbrüchen – erweiterte Möglichkeiten mit dem neuen Eurocode 5

1. Einleitung

Architektonische Gründe oder auch nutzerspezifische Anforderungen an das verfügbare Lichtraumprofil führen häufig dazu, dass Leitungen für Zu-/Abwasser, Lüftung, Heizung etc. in der Ebene der Tragkonstruktion angeordnet werden. Infolgedessen sind in den Trägern Durchbrüche erforderlich, welche das Tragverhalten deutlich beeinflussen. Hinsichtlich der Bemessung derartiger Durchbrüche existieren derzeit auf europäischer Ebene im Eurocode 5 [1] keine normativen Bemessungsregeln. Einzelne Mitgliedsstaaten bieten zwar in den Nationalen Anhängen Bemessungs- und Konstruktionsregeln in Form nicht widersprechender, ergänzender Regelungen (NCI) an, jedoch führen diese Regelungen wie im Fall der Nationalen Anhänge von Deutschland [2] und Österreich [3] zu nicht unerheblichen Einschränkungen hinsichtlich der Größe und der Positionierung der Durchbrüche. So sind unverstärkte Durchbrüche nur bis zu einer Größe von 0,15h zulässig, Anordnungen von Durchbrüchen in Gruppen (l_z < 1,5h) bislang nicht zulässig. Auch eine exzentrische Anordnung ist bisher nur in sehr begrenztem Maße zulässig ($h_{ro(ru)}$ ≥ 0,35h). Um die offensichtliche Lücke im Eurocode 5 zu schließen, wurde das Thema *Durchbrüche* auf der Liste der Arbeitspakete als vorrangig eingestuft [4]. Die allgemein anerkannten Ergebnisse jüngerer Forschungsarbeiten erlauben die Erweiterung der bislang bekannten Regeln auf größere Durchmesser, um exzentrisch angeordnete Durchbrüche und die Anordnung von Durchbrüchen in Gruppen.

2. Hintergründe

Der Entwurf der Abschnitte *Durchbrüche* und *Verstärkte Durchbrüche* für den neuen Eurocode 5 lag in der Verantwortung der europäischen Arbeitsgruppe
CEN/TC 250/SC 5/WG 7 *Reinforcement.* Unterstützt wurde die Arbeit durch zwei sog. Project Teams (PTs), PT SC5.T1 *CLT + Reinforcement* und PT SC5.T3 *Cluster EC5.* Neben dem Normentext incl. Zeichnungen hatte die WG7 mit Unterstützung der Project Teams ein Hintergrunddokument zu erarbeiten, welches die technischen Begründungen und wissenschaftlichen Hintergründe für den vorgeschlagenen Normentext beschreibt. Während der Bearbeitungsphase durchlief der Entwurf vier Phasen der Kommentierung seitens der nationalen Normenausschüsse. Bis Ende des Jahres 2023 liegen die Abschnitte *Durchbrüche* und *Verstärkte Durchbrüche* als Teil des Gelbdrucks des neuen Eurocode 5, prEN1995-1-1:2023 [5], der Fachöffentlichkeit zur Kommentierung vor [6].

Im Folgenden werden die wichtigsten Inhalte und Hintergründe zu Entwurf und Bemessung von Durchbrüchen im Gelbdruck des EC 5 vorgestellt. Auch der Entwurf und die Bemessung von Verstärkungen für Durchbrüche werden kurz behandelt, für eine umfassendere Erläuterung zu Entwurf und Bemessung von Verstärkungen im neuen Eurocode 5 wird auf den gleichlautenden Beitrag zum IHF 2019 verwiesen [7].

Für das Verständnis der Normangaben relevante Hintergrundinformationen werden zur besseren Nachvollziehbarkeit im Fließtext kursiv dargestellt.

3. Entwurf von Durchbrüchen nach prEN1995-1-1

Der aktuell zur Kommentierung durch die Fachöffentlichkeit vorliegende Entwurf des neuen Eurocode 5, prEN1995-1-1:2023 [5] enthält folgende Angaben und Randbedingungen zum normgemäßen Entwurf von Durchbrüchen.

Durchbrüche in Bauteilen mit einer Abmessung größer oder gleich min {50 mm, 0,1*h*} sind entsprechend dieses Abschnittes nachzuweisen. *Diese Grenzwerte sind nationalen Regeln [2], [3] entnommen.* Der Nachweis von Längs- oder Biegespannungen ist auf Basis des Nettoquerschnitts an der Position des Durchbruches zu führen. Bei rechteckigen Durchbrüchen ist die Auswirkung zusätzlicher Biegespannungen aufgrund der Rahmenwirkung zu berücksichtigen. Im Nachweis der Schubspannungen ist die Auswirkung von Spannungskonzentrationen an den Rändern des Durchbruchs zu berücksichtigen. Ohne genaueren Nachweis sollten keine Durchbrüche mit einer Abmessung größer oder gleich min{50 mm; 0,1*h*} in unverstärkten Bereichen von Bauteilen mit planmäßigen last- oder geometriebedingten Querzugspannungen angeordnet werden (z.B. gekrümmte Träger).

Kreisförmige Durchbrüche sollten gegenüber rechteckigen Durchbrüchen bevorzugt werden. Durchbrüche sollten vorzugsweise so angeordnet werden, dass sich ihr Schwerpunkt auf der neutralen Achse des Bauteils befindet. Eine exzentrische Anordnung sollte nur bei kreisförmigen Durchbrüchen angewendet werden. Bei einer exzentrischen Anordnung sollte eine Anordnung des Durchbruchs in biegedruckbeanspruchten Bereichen gegenüber einer Anordnung in biegezugbeanspruchten Bereichen bevorzugt werden. Die maximal mögliche Exzentrizität ist durch die Werte h_{ru} und h_{rl} (siehe Tabelle 1 und Abbildung 1) begrenzt, siehe auch Abbildung 1.

Der Einfluss von Gebäudetechnik (z.B. Heizungsrohren oder Lüftungsauslässen) auf die lokale Holzfeuchte der Bauteile (z.B. schnelles und/oder intensives Austrocknen) sollte berücksichtigt werden. Die Verstärkung von Durchbrüchen führt zu einem robusteren Langzeitverhalten, insbesondere bei großen Bauteilabmessungen und/oder erwarteten größeren Änderungen der Holzfeuchte.

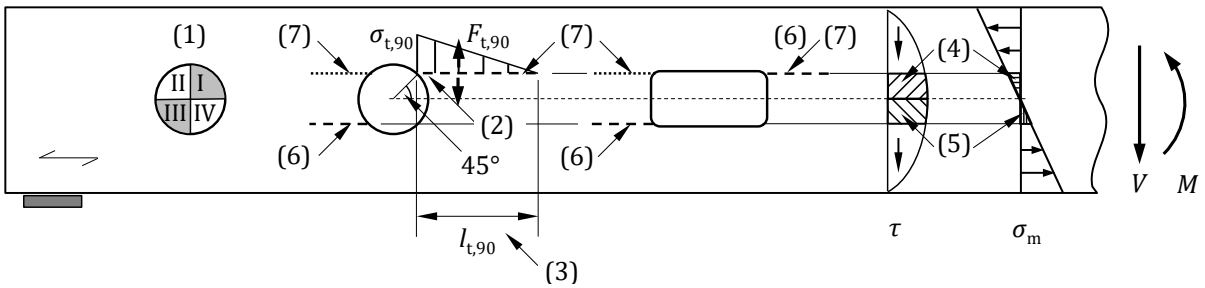


Abbildung 1: Durchbrüche in biegebeanspruchten Bauteilen

Legende

1 Durchbruch in Bauteil, kann in Quadranten I-IV unterteilt werden; der Quadrant mit der möglichen Rissentwicklung ist von der Art der Belastung und der Lage im Bauteil abhängig

2 mögliche Risslinie, (vereinfachte) Verteilung der Querzugspannungen $\sigma_{t,90}$ und Querzugkraft $F_{t,90}$

3 Verteilungslänge (der Querzugspannungen)

4 Anteil der über den oberen Restquerschnitt zu übertragenden Schub- und Biegespannungen

5 Anteil der über den unteren Restquerschnitt zu übertragenden Schub- und Biegespannungen

6 mögliche Risslinie an Positionen mit hohen Schubspannungen ($F_{t,90,V,Ed} \geq F_{t,90,M,Ed}$)

7 mögliche Risslinie an Positionen mit überwiegenden Biegespannungen ($F_{t,90,M,Ed} >> F_{t,90,V,Ed}$)

Versuche an Biegeträgern aus BSH mit kreisförmigen, exzentrisch angeordneten Durchbrüchen ergaben höhere Beanspruchbarkeiten für Träger mit in der Biegedruckzone angeordneten Durchbrüchen, verglichen mit Trägern mit in der Biegezugzone angeordneten Durchbrüchen [8]. In Verbindung mit dem spröden Versagensmechanismus auf Biegezug ergibt sich o.g. Empfehlung der Anordnung. Durch Durchbrüche in Bauteilen verlaufende Installationen können einen erheblichen Einfluss auf die örtliche relative Luftfeuchtigkeit haben, siehe z.B. [9]. Darüber hinaus liegt in Durchbrüchen ungeschütztes Hirnholz vor, wodurch signifikante Überlagerungen von feuchteinduzierten Querzugspannungen mit last- und geometrieabhängigen Querzugspannungen auftreten können.

Die im folgenden Abschnitt gegebenen Bemessungsregeln gelten für Durchbrüche mit geometrischen Randbedingungen gemäß Tabelle 1 in biegebeanspruchten Bauteilen aus den Nadelholzprodukten Balkenschichtholz (GST), (blockverklebtes) Brettschichtholz (GL, BGL) und Furnierschichtholz mit parallelen Furnierlagen (LVL-P, GLVL-P). Hochkant biegebeanspruchtes Nadel-Furnierschichtholz mit Querlagen (LVL-C, GLVL-C) sollten entsprechend dem Abschnitt *Verstärkung von Durchbrüchen* bemessen werden. Durchbrüche in Nadelholzbauteilen aus festigkeitssortiertem Bauholz (ST) und keilgezinktem Vollholz (FST) sind zu verstärken.

Die Einschränkung der anwendbaren Holzprodukte beruht auf der Notwendigkeit, Schwind- und Quellspannungen (einschließlich potenzieller Rissbildung) um Durchbrüche zu reduzieren, sowie auf den vergleichsweise großen, nach den Sortierregeln für Vollholz, zulässigen Risstiefen. Die Mindestabstände und maximalen Abmessungen von Durchbrüchen basieren auf [2], beschrieben in [10] und [11]. Der Grund für die erhöhten zulässigen Größen verstärkter Durchbrüche im Vergleich zu unverstärkten Durchbrüchen ist die Tatsache, dass die Verstärkung zu einer erhöhten Robustheit von Bauteilen mit Durchbrüchen führt, da sie eine zweite Barriere gegen spröde Versagensmechanismen wie Schub- und Querzugversagen darstellt. Die größeren zulässigen Abmessungen von Durchbrüchen mit außenliegenden, flächenförmigen Verstärkungen ergeben sich aus der gleichmäßigeren Übertragung von Spannungen um den Durchbruch herum. Die Sperrwirkung von Verstärkungselementen bei einem Heruntertrocknen des Bauteils in dauerhaft trockenem Klima kann zu einer Reduzierung der Schubbeanspruchbarkeit führen, in diesem Fall sollte der Abstand zwischen dem Durchbruch und dem Trägerende vergrößert werden. Die Erweiterung der zulässigen Abmessungen sowie Reduktion der Mindestabstände basiert auf experimentellen und numerischen Untersuchungen in [8]. Grund für die Begrenzung der Exzentrizität von Durchbrüchen sind die konzentrierten Längsspannungen an den oberen und unteren Durchbruchrändern aufgrund der Umleitung von Biegespannungen um den Durchbruch. Nach [8] können diese Spannungen um ein Vielfaches höher sein als die Biegespannungen am Trägerrand. Allerdings treten diese Spannungen nur lokal begrenzt auf, sodass ein positiver Volumeneffekt die Wirkung der Spannungskonzentrationen an den Durchbruchrändern teilweise kompensiert. Die Anforderung, die Ecken rechteckiger Durchbrüche mit gegebenen Radien auszurunden, ergibt sich aus der Notwendigkeit der Verteilung der Schubspannungen, um den Nachweis der erhöhten Schubspannungen zu ermöglichen.

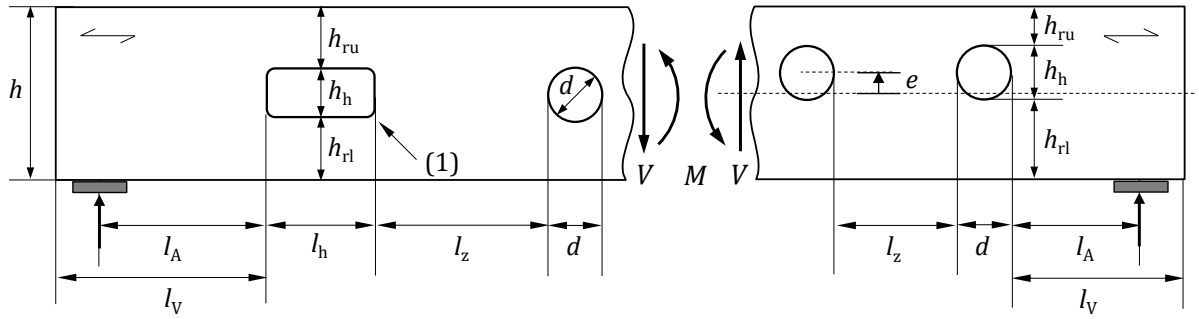


Abbildung 2: Kreisförmige und rechteckige Durchbrüche in biegebeanspruchten Bauteilen

Legende

1 abgerundete Ecken: Ausrundungsradius $r \geq 20$ mm, wenn $h_h \leq 200$ mm
Ausrundungsradius $r \geq 40$ mm, wenn $h_h > 200$ mm

Tabelle 1: Mindestabstände und maximale Abmessungen von unverstärkten und verstärkten Durchbrüchen in Bauteilen mit rechteckigem Querschnitt [a]

	Mindestabstände				**Maximale Abmessungen**		
	Ende	Abstand	Auflager	Ränder	Rechteckige Durchbrüche		Kreisförmige Durchbrüche
Unverstärkt	$l_v \geq h$ [b]	Einzelner Durchbruch: $l_z \geq 1{,}5\,h$, mindestens 300 mm Gruppe kreisförmiger Durchbrüche: $l_z \geq d$ [c]	$l_A \geq h/2$	$h_{ru} \geq 0{,}15\,h$ [d] mindestens eine Lamelle [e] $h_{rl} \geq 0{,}2\,h$ [d] mindestens 1,5 Lamellen [e]	$l_h/h_h \leq 2{,}5$ $l_h \leq 0{,}5h$	$h_h \leq 0{,}2h$	für $e \leq \pm 0{,}1h$: $d \leq 0{,}3h$ für $e > \pm 0{,}1h$: $d \leq 0{,}2h$
Verstärkt	$l_v \geq h$ [b]	Einzelner Durchbruch: $l_z \geq 1{,}0\,h$, mindestens 300 mm Gruppe kreisförmiger Durchbrüche: $l_z \geq d$ [c]	$l_A \geq h/2$	$h_{ru} \geq 0{,}15\,h$ [d] mindestens eine Lamelle [e] $h_{rl} \geq 0{,}2\,h$ [d] mindestens 1,5 Lamellen [e]	$l_h/h_h \leq 2{,}5$ $l_h \leq h$	$h_h \leq 0{,}3\,h$ [f] $h_h \leq 0{,}4\,h$ [g]	$d \leq 0{,}3\,h$ [f] $d \leq 0{,}4\,h$ [g]

[a] Für Geometrieparameter (z.B. l_A, l_v, l_z, h_{ru}, h_{rl}, h_h, e) siehe Abbildung 2.
[b] In Anwendungen mit durchgängig trockenem oder häufig wechselndem Klima sollte l_v erhöht werden ($l_v \geq 1{,}5h$).
[c] Bei Gruppen von kreisförmigen Durchbrüchen ist ein Abminderungsfaktor anzuwenden, siehe 4.3.
[d] Die unterschiedlichen Abstandsregelungen decken die unterschiedlichen Auswirkungen von Biegedruck- und Biegezugspannungen ab. Die Auswirkung exzentrischer Anordnungen ist nachzuweisen.
[e] Für LVL-P: $h_{ru} \geq 40$ mm, $h_{rl} \geq 60$ mm.
[f] Für Durchbrüche mit innenliegenden, stiftförmigen Verstärkungselementen.
[g] Für Durchbrüche mit außenliegenden, flächenförmigen Verstärkungen, z.B. Platten, Lamellen, LVL-C und Nagelplatten und für Durchbrüche in hochkant biegebeanspruchtem LVL-C und GLVL-C aus Nadelholz.

4. Bemessung von Durchbrüchen nach prEN1995-1-1

4.1. Bemessung symmetrisch angeordneter Durchbrüche

Für Biegeträger mit Durchbrüchen, deren Schwerpunkt sich auf der neutralen Achse des Bauteils befindet, sollte folgender Nachweis erfüllt sein.

$$\frac{\frac{F_{t,90,V,Ed}}{l_{t,90,V}} + \frac{F_{t,90,M,Ed}}{l_{t,90,M}}}{0{,}5\,b\,k_{vol}\,k_{space}\,f_{t,90,d}} \leq 1{,}0 \tag{1}$$

mit

$$F_{t,90,V,Ed} = \frac{V_d\,0{,}7\,d_h}{4h}\left[3 - \left(\frac{0{,}7\,d_h}{h}\right)^2\right] k_{diam} \tag{2}$$

$$k_{diam} = 1{,}1 + 1{,}3\left[\frac{d_h}{h} - \left(\frac{d_h}{h}\right)^2\right] \tag{3}$$

$$l_{t,90,V} = 1{,}3\,d_h \tag{4}$$

$$F_{t,90,M,Ed} = 0{,}09\frac{M_d}{h}\left(\frac{d_h}{h}\right)^2 \tag{5}$$

$$l_{t,90,M} = 0{,}8\,d_h \tag{6}$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_{ref}}{0{,}25\,b\,d_h^2}\right)^{0{,}2} \tag{7}$$

dabei ist

k_{space} Beiwert zur Berücksichtigung von bis zu 3 kreisförmigen, in Gruppe angeordneten, Durchbrüchen
= 1,0 für Bauteile mit einzelnen Durchbrüchen;
für Biegeträger mit Gruppen von kreisförmigen Durchbrüchen, siehe 4.3;

d_h der anzuwendende Durchmesser des Durchbruchs
= d (Durchmesser) für kreisförmige Durchbrüche
= $k_{shape}\ h_h$ für rechteckige Durchbrüche

V_{ref} ist das Referenzvolumen
mit V_{ref} = 0,01 m³ für Nadelholzprodukte GST, GL und BGL
mit V_{ref} = 0,0015 m³ für hochkant biegebeanspruchte Nadelholzprodukte LVL, GLVL

Eine Erläuterung der weiteren Symbole kann dem Anhang entnommen werden.

Der Weibull-basierte Bemessungsansatz, d.h. die Einbeziehung eines Volumeneffekts, basiert auf [12], wurde in [8] ergänzt und in das vorliegende Bemessungsformat übertragen. Die Basis des Volumenfaktors k_{vol} ist ein Ringsegment mit einem Öffnungswinkel θ = 50°, einer Ausdehnung in radialer Richtung von Δr = 3/8d und einer Dicke gleich der Bauteilbreite b. Die Variation dieser geometrischen Parameter hat einen eher vernachlässigbaren Einfluss auf die Ergebnisse. Der Ansatz zur Bestimmung der Querzugkraft aufgrund der Übertragung von Biegespannungen um den Durchbruch basiert auf [13]. Die effektive Verteilungslänge, $l_{t,90}$, hängt von der Durchbruchgröße und der Art der übertragenen Spannungen ab, sie ist bei Schubspannungen größer als bei Biegespannungen. Zur Vereinfachung wird die Verteilung der Querzugspannungen entlang der Verteilungslänge als dreiecksförmig angenommen. Die angegebenen Referenzvolumen basieren auf den zugehörigen Prüfnormen der Holzprodukte.

Auch rechteckige Durchbrüche dürfen unter Verwendung eines äquivalenten Durchmessers mit obenstehendem Bemessungsansatz nachgewiesen werden. Für Biegeträger mit rechteckigen Durchbrüchen mit einem Ausrundungsradius der Ecken $r/h_h \geq 0{,}1$, die in einem Bereich platziert sind, in dem das Schnittgrößenverhältnis
$0 \leq \frac{|V_d|h}{|M_d|} \leq 1$ beträgt, darf der Faktor k_{shape} wie folgt bestimmt werden:

$$k_{\text{shape}} = 1{,}25 + 0{,}3\ \frac{l_h}{h_h}\left[4\frac{V_d\ h}{M_d} - 3\left(\frac{V_d\ h}{M_d}\right)^2\right] \tag{8}$$

Eine Erläuterung der Symbole kann dem Anhang entnommen werden.

Der Beiwert k_{shape} wird verwendet, um äquivalente Querzugspannungen zu bestimmen. Die geometrischen Grenzwerte in Tabelle 1 sind nicht auf k_{shape} anwendbar. Die geometrischen Grenzwerte in Tabelle 1 umfassen auch Robustheitskriterien und berücksichtigen zusätzliche Auswirkungen wie Spannungskonzentrationen aus Schub und Biegung an den Durchbruchrändern.

Gleichung (8) ermöglicht die Bemessung von rechteckigen Durchbrüchen mit den Bemessungsregeln für kreisförmige Durchbrüche mittels eines äquivalenten Durchmessers, der zu einer vergleichbaren Querzugkraft, $F_{t,90}$, führt. Die Nachweise der Biege- und Schubspannungen sind mit den realen Abmessungen des rechteckigen Durchbruchs zu führen. Die Erweiterung der Bemessungsregeln für kreisförmige Durchbrüche auf rechteckige Durchbrüche basiert auf [14] und wurde durch numerische Parameterstudien und experimentelle Ergebnisse aus der Literatur verifiziert. In [15] wird ein alternativer Ansatz vorgestellt, bei dem die Auswirkungen von kreisförmigen und rechteckigen Durchbrüchen durch verschiedene Formfaktoren berücksichtigt werden. Beide Ansätze haben den gleichen Anwendungsbereich und führen für die genormten Standardfälle zu ähnlichen Ergebnissen.

Für Biegeträger mit rechteckigen Durchbrüchen dürfen die Bemessungswerte der Biegespannungen in dem Trägerquerschnitt mit dem rechteckigen Durchbruch, $\sigma_{m,d}$, wie folgt bestimmt werden:

$$\sigma_{\mathrm{m,d}} = \frac{M_{\mathrm{d}}}{W_{\mathrm{net}}} + \frac{M_{\mathrm{res,d}}}{W_{\mathrm{res}}} \tag{9}$$

mit

$$M_{\mathrm{res,d}} = \frac{V_{\mathrm{d}}}{2}\frac{l_{\mathrm{h}}}{2} \tag{10}$$

$$W_{\mathrm{res}} = \frac{b\, h_{\mathrm{res}}^2}{6} \tag{11}$$

$$h_{\mathrm{res}} = (h - h_{\mathrm{h}})/2 \tag{12}$$

Eine Erläuterung der Symbole kann dem Anhang entnommen werden.

In Biegeträgern mit Durchbrüchen sollten die erhöhten Schubspannungen im Restquerschnitt am Durchbruch berücksichtigt werden. Hierbei darf der Bemessungswert der maximalen Schubspannung $\tau_{\mathrm{max,d}}$ wie folgt bestimmt werden:

$$\tau_{\mathrm{max,d}} = k_{\tau}\, \frac{1{,}5\, V_{\mathrm{d}}}{b(h - h_{\mathrm{h}})} \tag{13}$$

mit

$$k_{\tau} = k_{\mathrm{rad}} \left(1 + \frac{l_{\mathrm{h}}}{h}\right) \left(\frac{h_{\mathrm{h}}}{h}\right)^{0{,}2} \tag{14}$$

dabei ist:

h_{h} die Durchbruchhöhe, für kreisförmige Durchbrüche $h_{\mathrm{h}} = 0{,}7d$;

k_{rad} Beiwert zur Berücksichtigung der Auswirkung des Ausrundungsradius der Ecken auf die Schubspannung. Für Durchbrüche in Biegeträgern aus Nadelholzprodukten GST, GL, BGL und hochkant biegebeanspruchtem LVL-P, GLVL-P darf der Wert für k_{rad} ohne weiteren Nachweis zu 1,8 angenommen werden.

Gleichungen (13) und (14) basieren auf [16]. Nach [17] liegen die mit Gleichungen (13) und (14) ermittelten Schubspannungen für kreisförmige Durchbrüche auch bei Anwendung einer Durchbruchhöhe h = 0,7d deutlich auf der sicheren Seite.

4.2. Bemessung exzentrisch angeordneter Durchbrüche

Ein von den Autoren durchgeführtes Forschungsvorhaben [8] verdeutlichte folgenden Zusammenhang. Mit zunehmender Ausmitte verändern sich die beiden umzulagernden Spannungsanteile, siehe Abbildung 1, in der Größe dahingehend, dass diese im Fall der Schubspannungen geringfügig abnehmen sowie im Fall der Biegespannungen deutlich zunehmen. Dementsprechend wirken sich eine zunehmende Ausmitte im Hinblick auf das Tragverhalten im Fall der umzulagernden Schubspannungen günstig jedoch im Fall der umzulagernden Biegespannungen deutlich ungünstig aus. Für jede Gesamtbetrachtung eines Durchbruchs ist eine Superposition dieser beiden gegenläufigen Effekte erforderlich. Die Position des Durchbruchs im Träger (Ausmitte *e*/*h*, Schnittkraftverhältnis *M*/*V*) bestimmt dabei, inwieweit daraus ein günstiger/ungünstiger Effekt resultiert.
Exemplarisch wird das Verhalten exzentrischer Einzeldurchbrüche im unverstärkten Zustand anhand des numerisch abgeschätzten Querzugversagens in Abbildung 3 dargestellt. Ein Vergleich numerischer Berechnungen in Kombination mit einem Weibull-basierten Bemessungsansatz und der Versuchsergebnisse unverstärkter Durchbrüche zeigte, dass sich entsprechende Durchrisslasten auf diese Weise recht gut abschätzen lassen. In Abbildung 3 sind die ermittelten Durchrisslasten am Beispiel der im Forschungsprojekt [8] experimentell untersuchten Trägergröße *b*/*h* = 120 mm / 400 mm (Kleinversuche) und zweier verschiedener Durchbruchgrößen dargestellt. Der zugrundeliegende Mittelwert der Querzugfestigkeit beträgt $f_{\mathrm{t,90,mean}}$ = 0,83 N/mm². Bei sehr kleinen Schnittkraftverhältnissen (Einfluss des Moments gering) zeigt sich demnach ein geringfügig positiver Effekt der Ausmitte, welcher sich mit zunehmendem Schnittkraftverhältnis (zunehmender Einfluss des Biegemoments) deutlich ins Negative wandelt.

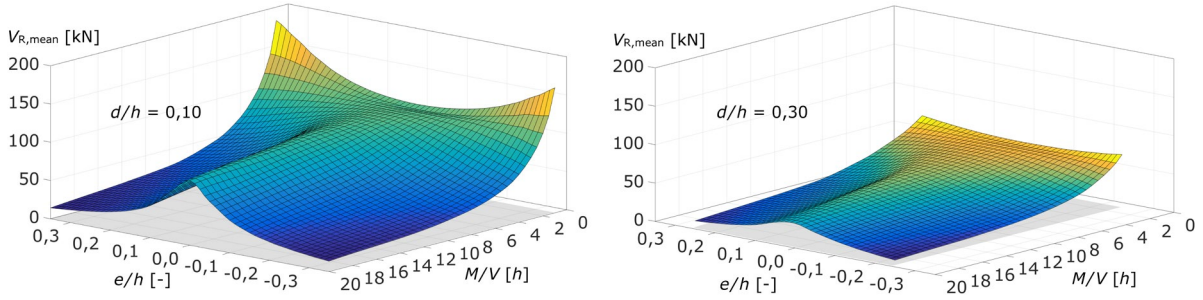


Abbildung 3: Ermittelte Durchrisslasten zweier Durchbruchgrößen (links: klein, rechts: groß) in Abhängigkeit der Position des Durchbruchs im Träger [8]

Im Unterschied zum Bemessungsansatz für auf der neutralen Achse angeordnete Durchbrüche sind bei exzentrischer Anordnung zwei mögliche Orte maximaler Querzugspannungen (Quadrant I und III, siehe Abbildung 1) zu berücksichtigen. Dabei sind die Anteile der Querzugkräfte infolge Schub und Biegung in Abhängigkeit des Drehsinns des Biegemoments in unterschiedlichen Varianten zu kombinieren (Schub kombiniert mit positivem oder negativem Biegemoment). D.h. je nach Drehsinn des Biegemoments (abh. vom statischen System) ist eine der Kombinationen a bzw. b anzuwenden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen [8] wurden folgende Bemessungsgleichungen für den Entwurf zum neuen Eurocode 5 vorgeschlagen.

Für Biegeträger aus Brettschichtholz (GL, BGL) mit kreisförmigen Durchbrüchen, deren Schwerpunkt exzentrisch zur Längsachse des Bauteils liegt, sollten die Komponenten der Querzugkräfte für Nachweise in den Quadranten I und III entsprechend Gleichung (1) in folgenden Varianten kombiniert werden:

a) für den Fall eines positiven Biegemoments
   1) $F_{t,90,V,I}$ und $F_{t,90,M,I}$ (Kombination a.I)
   2) $F_{t,90,V,III}$ und $F_{t,90,M,III}$ (Kombination a.III)

b) für den Fall eines negativen Biegemoments
   1) $F_{t,90,V,I}$ und $F_{t,90,M,III}$ (Kombination b.I)
   2) $F_{t,90,V,III}$ und $F_{t,90,M,I}$ (Kombination b.III)

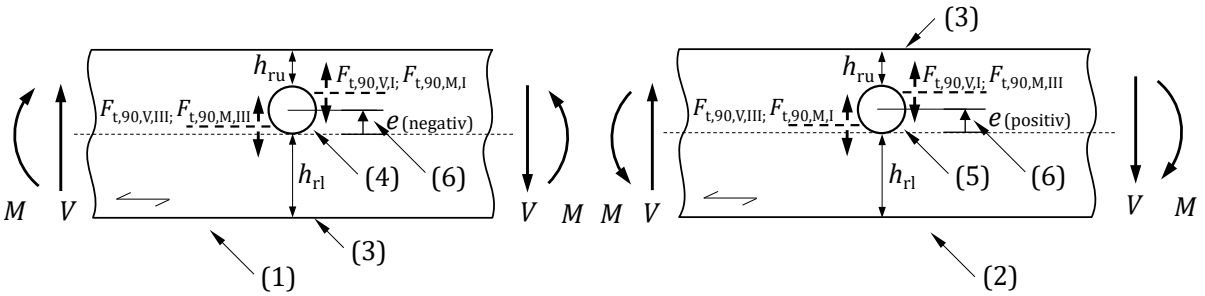


Abbildung 4: Exzentrisch angeordnete Durchbrüche in Biegeträgern

Legende

1 Biegeträger unter positivem Biegemoment (z.B. Einfeldträger unter Vertikallast)

2 Biegeträger unter negativem Biegemoment (z.B. Kragträger oder Durchlaufträger über Auflager)

3 (Biege-)Zugspannung ausgesetzter Bauteilrand

4 Durchbruch mit Exzentrizität in Richtung des Bauteilrandes unter Biegedruckspannungen (bevorzugt)

5 Durchbruch mit Exzentrizität in Richtung des Bauteilrandes unter Biegezugspannungen

6 Exzentrizität zwischen dem Schwerpunkt des Durchbruchs und der neutralen Achse des Bauteils

e ist negativ in Richtung des Bauteilrandes unter Biegedruckspannungen

e ist positiv in Richtung des Bauteilrandes unter Biegezugspannungen

Für diese Fälle dürfen die Bemessungswerte der Querzugkräfte $F_{t,90,V,Ed}$ und $F_{t,90,M,Ed}$ wie folgt bestimmt werden:

$$F_{t,90,V,Ed} = F_{t,90,V,I/III,Ed} = \frac{V_d \; 0{,}7d}{4h}\left[3 - \left(\frac{0{,}7d}{h}\right)^2\right] k_{ecc,I/III} \tag{15}$$

mit

$$k_{ecc,I} = 0{,}1 + \frac{d}{h} + 4{,}5\frac{h_{ru}}{h} - 5{,}0\left(\frac{h_{ru}}{h}\right)^2 \tag{16}$$

$$k_{ecc,III} = 0{,}1 + \frac{d}{h} + 4{,}5\frac{h_{rl}}{h} - 5{,}0\left(\frac{h_{rl}}{h}\right)^2 \tag{17}$$

$l_{t,90,V} = l_{t,90,V,I/III}$ entsprechend Gleichung (4)

und

$$F_{t,90,M,Ed} = F_{t,90,M,I,Ed} = M_d \frac{d}{h^3} \max\begin{Bmatrix} -0{,}62\;(e - 0{,}13d) \\ -0{,}2\;(e - 0{,}45d) \\ 0{,}3\;(e - 0{,}08d) \end{Bmatrix} \tag{18}$$

$$l_{t,90,M} = l_{t,90,M,I} = 0{,}8d\left(1 - \frac{e}{d}\right) \quad \text{mit } 0{,}6\,d \le l_{t,90,M,I} \le 1{,}0\,d \tag{19}$$

und

$$F_{t,90,M,Ed} = F_{t,90,M,III,Ed} = M_d \frac{d}{h^3}\;0{,}22\;(e + 0{,}19d) \quad \text{mit } F_{t,90,M,III,Ed} \ge 0 \tag{20}$$

$$l_{t,90,M} = l_{t,90,M,III} = 0{,}4d \tag{21}$$

Eine Erläuterung der Symbole kann dem Anhang entnommen werden.

4.3. Bemessung von Gruppen von Durchbrüchen

Ein von den Autoren durchgeführtes Forschungsvorhaben [8] verdeutlichte folgenden Zusammenhang. Das Ausmaß des gegenseitigen Einflusses mehrerer nebeneinanderliegender Durchbrüche ist nicht nur abhängig vom lichten Abstand, sondern auch von der Position im Träger, d.h. der Beanspruchungssituation. Während ein zunehmender Momenteneinfluss einen eher positiven Einfluss hat, tritt der größte tragfähigkeitsmindernde Einfluss im auflagernahen, vorwiegend schubbeanspruchten Bereich auf. Dementsprechend wird der Abminderungsfaktor k_{space} durch eine bi-lineare Kurve in Abhängigkeit vom lichten Abstand zwischen zwei Durchbrüchen dargestellt, welche stellvertretend ist für die Ergebnisse der ungünstigsten Anordnung. Aufbauend auf den numerischen und experimentellen Untersuchungen zu Gruppen nebeneinanderliegender Durchbrüche in Brettschichtholzträgern wurden folgende Bemessungsgleichungen für den Entwurf zum neuen Eurocode 5 vorgeschlagen. [8] enthält auch einen Vorschlag zur Berücksichtigung einer Gruppe vertikal übereinander angeordneter Durchbrüche.

Für Biegeträger aus Balkenschichtholz (GST) oder Brettschichtholz (GL, BGL) aus Nadelholz mit Gruppen von 2 oder 3 parallel zur Faser angeordneten, kreisförmigen Durchbrüchen mit dem gleichen Durchmesser d, der gleichen Exzentrizität e und dem gleichen Abstand parallel zur Faser l_z, siehe Abbildung 2, und in Übereinstimmung mit Gleichung (22), sollte Gleichung (1) für jeden Durchbruch mit Gleichung (23) erfüllt sein:

$$d \le l_z < \begin{cases} 1{,}5\;h & \text{für unverstärkte Durchbrüche} \\ 1{,}0\;h & \text{für verstärkte Durchbrüche} \end{cases} \tag{22}$$

$$k_{space} = \min\begin{cases} 1 \\ 1 - 0{,}2\;\dfrac{1{,}5\;h - l_z}{1{,}5\;h} \\ 1 - 0{,}4\;\dfrac{5\;d - l_z}{5\;d} \end{cases} \tag{23}$$

Eine Erläuterung der Symbole kann dem Anhang entnommen werden.

Für Gruppen von Durchbrüchen mit einer Gesamtlänge parallel zur Faser l_G von nicht mehr als 2h, gemessen zwischen den Außenkanten der Gruppe der Durchbrüche, sollte der Abstand l_V zwischen dem Ende des Bauteils und des nächsten Durchbruchrands mindestens 1,5h betragen.

Eine Gruppe kleiner Durchbrüche, deren Schwerpunkte auf der neutralen Achse des Bauteils liegen, siehe Abbildung 5, darf unter Anwendung eines umschreibenden rechteckigen Durchbruchs bemessen werden, sofern der umschreibende Durchbruch innerhalb der in Tabelle 1 und Abbildung 2 enthaltenen geometrischen Grenzen liegt.

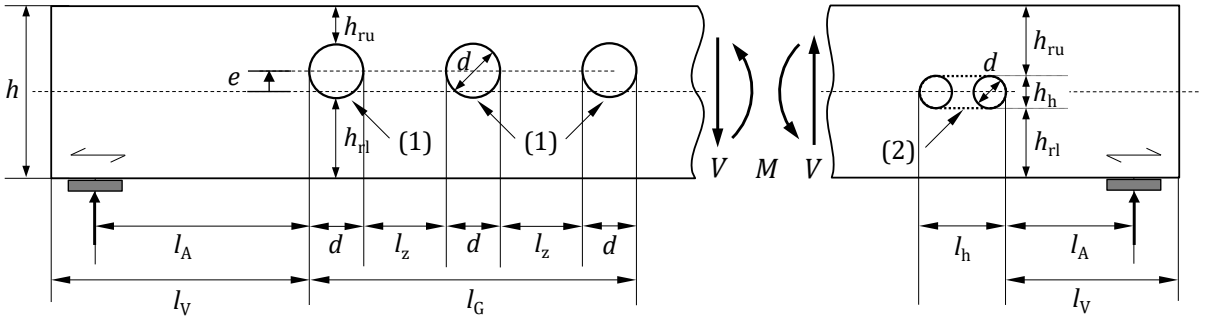


Abbildung 5: Gruppen von Durchbrüchen in Biegeträgern

Legende

1 Gruppe von Durchbrüchen, für die Gleichung (23) berücksichtigt werden sollte

2 Gruppe kleiner Durchbrüche, die unter Anwendung eines umschreibenden rechteckigen Durchbruchs bemessen werden dürfen

Bei einer Gruppe von Durchbrüchen in der Nähe des Bauteilendes wird der Mindestabstand l_V vergrößert, um die Robustheit des Bauteils gegenüber sprödem (Schub-)Versagen zu erhöhen, welches durch das mehrfache Auftreten von Spannungsspitzen in Verbindung mit der Nähe zum Hirnholz und damit erhöhten Holzfeuchteänderungen begünstigt wird. Die Möglichkeit, eine Gruppe von kleinen Durchbrüchen durch einen umschriebenen Durchbruch nachzuweisen, basiert auf [18].

5. Entwurf und Bemessung verstärkter Durchbrüche

Die Angaben zur Verstärkung von Durchbrüchen sind anwendbar auf biegebeanspruchte, technisch getrocknete Bauteile aus den Nadelholzprodukten festigkeitssortiertes Bauholz (ST), keilgezinktes Vollholz (FST), Balkenschichtholz (GST), (blockverklebtes) Brettschichtholz (GL, BGL) und Furnierschichtholz mit parallelen Furnierlagen (LVL-P, GLVL-P), welche mit den geometrischen Randbedingungen in Tabelle 1 übereinstimmen.

Die Begrenzung der Anwendung verstärkter Durchbrüche auf technisch getrocknete Holzbauteile beruht auf der Notwendigkeit, feuchtigkeitsinduzierte Verformungen (Schwinden einschließlich möglicher Risse) von verstärkten Holzbauteilen zu reduzieren. Die Angaben zu Entwurf und Bemessung lehnen sich eng an die Angaben in [2] und [3] an, so dass in diesem Beitrag nur ausgewählte Inhalte des zugehörigen Abschnittes in prEN 1995-1-1:2023-10 wiedergegeben werden.

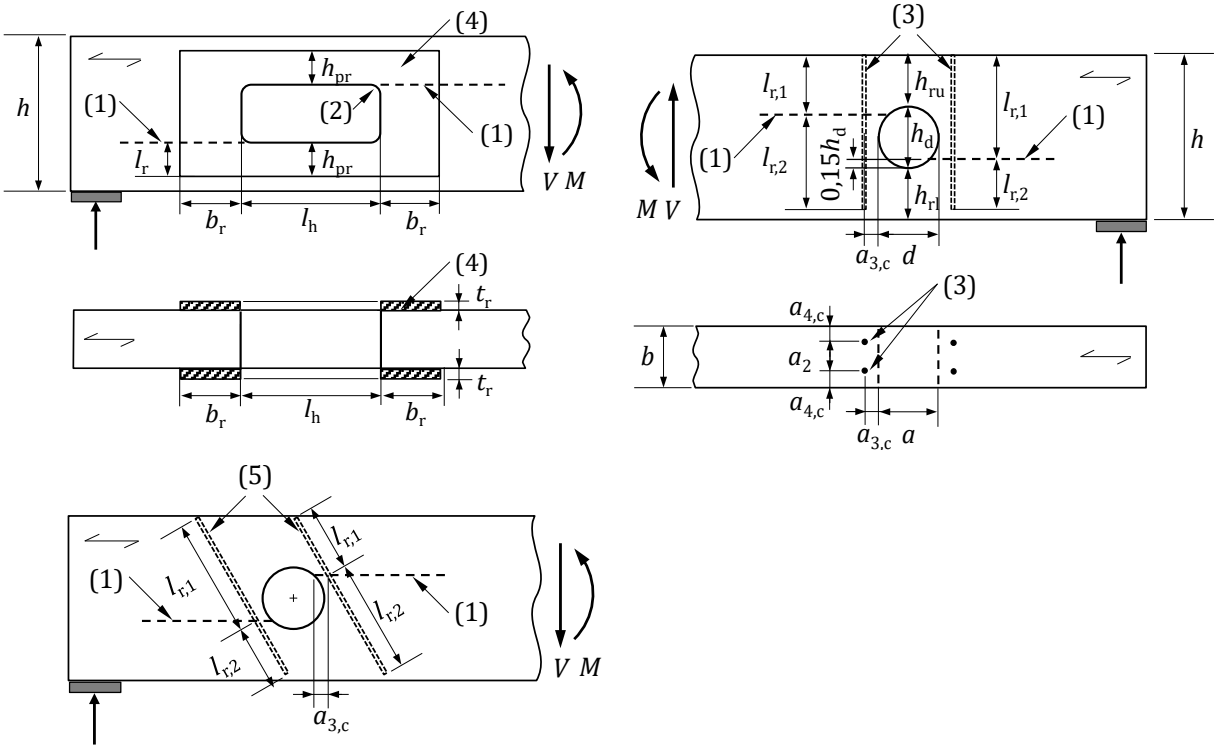


Abbildung 6: Verstärkung von Biegeträgern mit Durchbrüchen

Legende

1 Mögliche Risslinie

2 Abgerundete Ecke: Ausrundungsradius $r \geq 20$ mm, wenn $h_h \leq 200$ mm
Ausrundungsradius $r \geq 40$ mm, wenn $h_h > 200$ mm

3 Innenliegende, stiftförmige Verstärkungselemente

4 Außenliegende, flächenförmige Verstärkungselemente

5 Geneigt angeordnete, innenliegende, stiftförmige Verstärkungselemente, z.B. in Bereichen hoher Schubspannungen

Die Verstärkung eines Durchbruchs in Biegeträgern sollte auf folgenden Bemessungswert der Zugkraft, $F_{t,90,Ed}$, ausgelegt werden:

$$F_{t,90,Ed} = \frac{F_{t,90,V,Ed} + F_{t,90,M,Ed}}{k_{space}} \tag{23}$$

Die Bestimmung der Bemessungswerte der Querzugkräfte $F_{t,90,V,d}$ und $F_{t,90,M,d}$ erfolgt entsprechend den vorderen Abschnitten. Für Angaben zu ansetzbaren Einbindelängen oder ansetzbaren Längen bzw. Breiten flächenförmiger Verstärkungselemente bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeit der Verstärkungselemente wird auf die Angaben in [2] bzw. [3] sowie [7] verwiesen. Sofern innenliegende, stiftförmige Verstärkungselemente zur Anwendung kommen, sollte nur eine Reihe Verstärkungselemente im Abstand $a_{3,c}$ zum Durchbruchrand rechnerisch angesetzt werden, siehe Abbildung 6. Der Abstand zwischen dem Ort der maximalen Querzugspannungen und den stiftförmigen Verstärkungselementen sollte minimiert werden. Im Fall kreisförmiger Durchbrüche kann dies durch geneigte innenliegende, stiftförmige Verstärkungselemente erreicht werden. Die Anwendung senkrecht zur Faser angeordneter, stiftförmiger Verstärkungselemente sollte auf Bereiche geringer Schubspannungen begrenzt werden. Wenn der Nachweis der Schubspannungen mit τ_{max} aus Gleichung (13) nicht erfüllt ist, sollten senkrecht zur Faser angeordnete, innenliegende, stiftförmige Verstärkungselemente nicht angewendet werden.

Die Verstärkungswirkung von stiftförmigen oder flächenförmigen Verstärkungselementen ist stark abhängig vom Abstand zwischen dem Verstärkungselement und dem Ort der Spannungsspitze (bei Querzug oder Schub). Um diesen Abstand zu verringern, können stiftförmige Verstärkungselemente geneigt werden, z.B. auf 45° oder 60°. Darüber hinaus ermöglicht eine geneigte Anordnung auch die Übertragung von Schubspannungen, was zu einer Erhöhung der Tragfähigkeit im Vergleich zu einer senkrecht zur Faser angeordneten Verstärkung führt. In [8] durchgeführte Versuche an unverstärkten und mittels geneigt (45° bzw. 60°) angeordneten Vollgewindeschrauben verstärkten, exzentrisch angeordneten Durchbrüchen zeigen Tragfähigkeitssteigerungen im Vergleich zum unverstärkten Zustand von bis zu 98%, abhängig von der exzentrischen Position der Durchbrüche, siehe Abbildung 7 links. Die Begrenzung der Anwendbarkeit senkrecht zur Faser angeordneter, stiftförmiger Verstärkungselemente auf Bereiche mit geringen Schubspannungen beruht auf der Tatsache, dass diese Anordnung zu einer Sperrwirkung gegenüber Schwind- und Quellverformungen führt. Gesperrte Schwindverformungen führen zu Querzugspannungen und damit zu einer reduzierten Schubbeanspruchbarkeit des verstärkten Holzbauteils, welches im Umkreis von Durchbrüchen signifikant erhöhten Schubspannungen ausgesetzt ist. Die im Fall von tiefen Schwindrissen freiwerdenden Schubspannungen können von rechtwinklig zur Faser angeordneten, stiftförmigen Verstärkungselementen nur in sehr geringem Maße aufgenommen werden. Experimentelle Untersuchungen in [19] belegen, dass eine geneigte Anordnung von Verstärkungselementen im auflagernahen Bereich zu einer deutlichen Steigerung der Tragfähigkeit im Vergleich zur Anordnung rechtwinklig zur Faser führt, der Sperreffekt bei Austrocknung wird reduziert, siehe Abbildung 7 rechts.

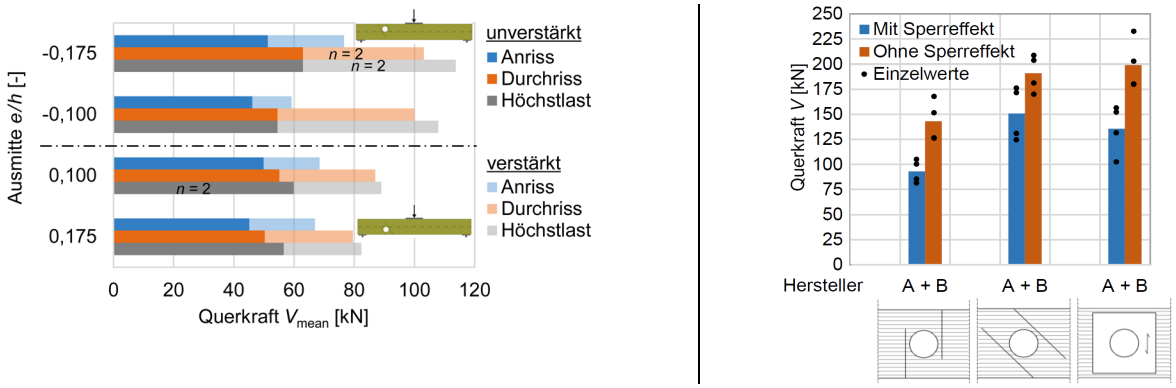


Abbildung 7: links: Versuchsergebnisse an exzentrischen Einzeldurchbrüchen d/h = 0,35 [8];
rechts: Versuchsergebnisse an verstärkten Durchbrüchen ohne und mit Sperreffekt (Δu 2,3 % – 5,3 %) [19]

6. Danksagung

Der Entwurf *Durchbrüche* wurde in Zusammenarbeit zwischen dem Autor und Prof. Dr. Roberto Tomasi erstellt. Der Entwurf *Verstärkungen* wurde in Zusammenarbeit zwischen dem Autor und Dipl.-Ing. Alfons Brunauer (1963-2018) erstellt. Die Autoren danken Dr. Simon Aicher, Dr. Cristóbal Tapia Camú, Prof. Dr. Erik Serrano, Ass.-Prof. Dr. Henrik Danielsson, Dr.-Ing. Tobias Wiegand, Assoc.-Prof. Dr.-Ing. Robert Jockwer und Dipl.-Ing. Harald Liven für Ihre Beiträge im Rahmen der Arbeit der WG 7.

7. Literatur

[1] EN 1995-1-1:2004; Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, + AC (2006) + A1 (2008) + A2 (2014). CEN European committee for standardization, Brüssel, Belgien.

[2] DIN EN 1995-1-1/NA:2013; Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Holzbau. DIN, Berlin.

[3] ÖNORM B 1995-1-1:2015-06, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holz bauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - Nationale Festlegungen zur Umsetzung der ÖNORM EN 1995-1-1, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen. ASI Austrian Standards International, Wien.

[4] Dietsch, P., Winter, S.; Eurocode 5 - Future Developments towards a more comprehensive code on timber structures. Structural Engineering International, Vol. 22, H. 2, S. 223-231, 2012.

[5] prEN 1995-1-1:2023-10, Eurocode 5 - Design of timber structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN, Brüssel.

[6] Winter, S.; Die Evolution des Eurocode 5 – ein Überblick mit Schwerpunkt auf der DIN EN 1995-1-1, Internationales Holzbau Forum IHF, Innsbruck, 2023.

[7] Dietsch, P., Eurocode 5:2022 – Einführung in den neuen Abschnitt Verstärkungen mit Fokus auf Querdruckverstärkungen zur Lastdurchleitung, Internationales Holzbau Forum IHF, Innsbruck, 2019.

[8] Danzer, M., Dietsch, P., Winter, S.; Einfluss exzentrisch positionierter runder Einzeldurchbrüche und Gruppen von Durchbrüchen auf die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern – Entwicklung von Bemessungsverfahren und Konstruktionsregeln für Verstäkungsmaßnahmen. Schlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 18048 N, TU München, 2017.

[9] Gamper, A., Dietsch, P., Merk, M., Winter, S.; Gebäudeklima – Auswirkungen auf Konstruktion und Dauerhaftigkeit von Holzbauwerken, in: Görlacher, R. (Hrsg.): Karlsruher Tage: Holzbau – Forschung für die Praxis, KIT Scientific Publishing, ISBN 978-3-7315-0267-8, 2014.

[10] Aicher, S., Höfflin, L.; Glulam Beams with Holes Reinforced by Steel Bars, CIB-W18 / 42-12-1, Proceedings of the international council for research and innovation in building and construction, Working commission W18 - timber structures, Meeting 42, Zürich, 2009.

[11] Aicher, S., Glulam Beams with Internally and Externally Reinforced Holes – Test, Detailing and Design, CIB-W18 / 44-12-4, Proceedings of the international council for research and innovation in building and construction, Working commission W18 - timber structures, Meeting 44, Alghero, 2011.

[12] Höfflin, L., Runde Durchbrüche in Brettschichtholzträgern – Experimentelle und theoretische Untersuchungen, Dissertation, Schriftenreihe Heft 90, MPA Universität Stuttgart, 2005.

[13] Aicher, S., Höfflin, L., Runde Durchbrüche in Biegeträgern aus Brettschichtholz - Teil 1: Berechnung, Bautechnik, Vol 78, pp. 706-715, 2001.

[14] Danzer, M., Rodemeier, S., Dietsch, P.; Rechteckige Durchbrüche, Schlussbericht PRB-4.1, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, TU München, 2019.

[15] Tapia, C., Aicher, S., Evaluation of design concepts for holes in glulam beams – comparison with test results, Otto-Graf-Journal Vol. 18, pp. 329 – 344, 2019.

[16] Blaß, H.J., Bejtka, I., Reinforcements perpendicular to the grain using self-tapping screws, Proceedings of the World Conference of Timber Engineering WCTE 2004, Lahti.

[17] Aicher, S., Siby, C., Tapia, C., Glulam and LVL Members with Holes – elevated shear stresses at corners and condensation of multiple close holes, INTER / 56-12-4, International Network on Timber Engineering Research INTER, Meeting 10, Biel, Switzerland, 2023.

[18] Tapia, C., Aicher, S., Mehrfach-Durchbrüche in Brettschichtholz, Proceedings 3. Stuttgarter Holzbau-Symposium, MPA Universität Stuttgart, 2015.

[19] M. Danzer, P. Dietsch, S. Winter; Verhalten verstärkter Brettschichtholzbauteile unter Schwindbeanspruchung, Schlussbericht zum Zukunft Bau Forschungsvorhaben Nr. 10.08.18.7-17.22, TU München, 2020.

8. Anhang – Symbole

d Durchmesser des kreisförmigen Durchbruchs;

e Exzentrizität zwischen dem Schwerpunkt des kreisförmigen Durchbruchs und der neutralen Achse des Bauteils;

h_h Höhe des Durchbruchs;

h_{res} verbleibende Höhe h_{rl} bzw. h_{ru} zwischen Durchbruchrand und Trägerrand;

h_{rl} verbleibende Höhe unter unterem Durchbruchrand;

h_{ru} verbleibende Höhe über oberem Durchbruchrand;

k_{diam} Beiwert zur Berücksichtigung der Spannungsverteilung und Lage der Risslinie;

$k_{ecc,I/III}$ Beiwert zur Berücksichtigung der Auswirkung der Exzentrizität auf die Übertragung von Schubkräften für den ersten bzw. dritten Quadranten;

k_{shape} Beiwert zur Berücksichtigung der Form des rechteckigen Durchbruchs;

k_{vol} Beiwert zur Berücksichtigung des Volumeneffektes;

l_A Abstand zwischen Durchbruchrand und Auflager;

l_h Länge des rechteckigen Durchbruchs;

$l_{t,90,M}$ Verteilungslänge für Querzugspannungen aufgrund der Übertragung von Biegespannungen um den Durchbruch;

$l_{t,90,V}$ Verteilungslänge für Querzugspannungen aufgrund der Übertragung von Schubspannungen um den Durchbruch;

l_V Abstand zwischen Trägerende und Durchbruchrand;

l_Z Abstand in Faserrichtung zwischen zwei Durchbrüchen;

$F_{t,90,M,Ed}$ Bemessungswert der Querzugkraft aufgrund der Übertragung von Biegespannungen;

$F_{t,90,M,I/III,Ed}$ Bemessungswert der Querzugkraft aufgrund der Übertragung von Biegespannungen um den Durchbruch im ersten bzw. dritten Quadranten;

$F_{t,90,V,Ed}$ Bemessungswert der Querzugkraft aufgrund der Übertragung von Schubspannungen;

$F_{t,90,V,I/III,Ed}$ Bemessungswert der Querzugkraft aufgrund der Übertragung von Schubspannungen um den Durchbruch im ersten bzw. dritten Quadranten;

M_d Bemessungswert des Biegemomentes am Durchbruchrand (Absolut-, d.h. positiver Wert);

$M_{res,d}$ Bemessungswert des Biegemomentes aus Rahmenwirkung um den Durchbruch;

V_d Bemessungswert der Querkraft am Durchbruchrand (Absolut-, d.h. positiver Wert);

W_{net} Widerstandsmoment des Nettoquerschnitts;

W_{res} Widerstandsmoment des Restquerschnitts über und unter dem Durchbruch;

Biobasierte Klebstoffe für die Holzwerkstoffindustrie

Christian Hübsch
UPM Biochemicals
Leuna, Deutschland



Biobasierte Klebstoffe für die Holzwerkstoffindustrie

Abstract

Die Holzwerkstoffindustrie leistet seit jeder einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit wichtiger Industrien, wie z.B. der Bau- und Möbelindustrie sowie dem Transportsektor, durch die Verwendung nachhaltig erzeugter, erneuerbarer Rohstoffe. Eine der großen Herausforderungen der Holzwerkstoffindustrie in Europe auf dem durch die EU-Kommission vorgegebenen Weg zu einer ‚net zero', d.h. CO_2-neutralen Produktion stellen die in den allermeisten Prozessen verwendeten Bindemittel/Leime dar. Diese chemischen Produkte bestehen in der Regel aus fossilen Rohstoffen wie z.B. Harnstoff, Formaldehyd, Phenol, oder Melamin. Beispielsweise verursacht 1 to eines handelsüblichen phenol-basierten Sperrholzleims allein auf der Prozesskette bis zur Lieferung an das Sperrholzwerk (‚cradle to gate') fossile Treibhausgasemissionen von ca. 1 to CO_2-Äquivalent. Bei einem geschätzten Verbrauch von ca. 6 mio to Phenolharz pro Jahr entspricht dies einem sog. Global Warming Potential (GWP) von 6 mio to CO_2-Äquivelent, wobei hier die CO_2-Emissionen aus der thermischen Verwertung des Holzwerkstoffs am Ende des Lebenzyklus (‚cradle to grave') noch nicht eingerechnet sind. Da alle gängigen Bindemittelsysteme der Holzwerkstoffindustrie aus organischen/kohlenstoffbasierten chemischen Verbindungen bestehen, ist eine ‚Decarbonisierung' dieser Produkte, anders als im Energie- bzw. Transportsektor, nicht möglich. Der einzige Weg ‚net zero' im Bereich der Klebstoffsysteme für die Holzwerkstoffindustrie zu erreichen besteht darin die Produkte aus erneuerbaren Rohstoffen herzustellen. Als erneuerbare Rohstoffe können theoretisch eingesetzt werden, Rezyklate, biobasierte Rohstoffe, sowie CO_2-basierte Rohstoffe. Da insbesondere bei Holzwerkstoffen das Recycling der verwendeten Klebstoffe technisch ausgesprochen herausfordernd und in vielen Fällen aktuell nicht möglich ist, und da sich die Technologie zur Produktion von Chemikalien technisch noch in einem sehr frühen Stadium befindet, kommt insbesondere den bio-basierten Klebstoffen eine herausragende Rolle zu, zum Erreichen des Ziels ‚net zero', für die gesamte Holzwerkstoffindustrie in Europa bis zum Jahr 2050.

Der Kurzvortrag fokussiert sich auf lignin-basierte Klebstoffe für Holzwerkstoffe, ausgehend von den ‚traditionellen' Anwendungen in der Sperrholzproduktion bis hin zu Anwendungen im Bereich der Span- und Faserplatten die bis dato die Domäne anderer Bindemittelklassen waren. Die erreichten mechanischen Kennwerte werden den wichtigsten Prozessparametern gegenübergestellt, sowie den gemessenen Formaldehydemissionen. Abschließende werden verbleibende technische Herausforderungen und mittelfristige Entwicklungsziele skizziert.

Der Carbon Footprint entlang der Lieferkette

Dr. Martina Bender
EGGER Holzwerkstoffe
St. Johann, Österreich



Der Carbon Footprint entlang der Lieferkette

Der CO_2-Fußabdruck (eng. *Carbon Footprint*) steht für den Gesamtbetrag an Treibhausgasemissionen, der direkt oder indirekt von Produkten, Unternehmen, Aktivitäten oder Personen verursacht wird. Einbezogen sind dabei nicht nur die CO_2-Emissionen, sondern auch andere Gase, die vom *International Panel on Climate Change (IPCC)* als Treibhausgase identifiziert werden. Das Treibhauspotential dieser Gase wird in CO_2-Äquivalente umgerechnet und als Summenwert zusammengefasst [1].

1. Der Carbon Footprint von Bauprodukten

Für Bauprodukte gibt es mit den sogenannten EPDs ein etabliertes Ökobilanzformat, das vergleichbare und transparente Daten zur Umweltleistung von Produktsystemen liefert. Die Verwendung dieser Daten zur Berechnung von Gebäude-Ökobilanzen ist seit Jahren gelebte Praxis. Die Abkürzung *EPD* steht für «Umwelt-Produktdeklaration» (engl. *Environmental Product Declaration*), genormt sind diese für die Produktkategorie Bauprodukte durch die *EN 15804* [2].

Je nach Bewertungsmethode gehen die meisten Ökobilanzen über die reine Betrachtung des Treibhauseffektes hinaus – es werden auch Umwelteffekte wie Versauerung, Überdüngung oder Ressourcenverknappung bilanziert. Für Bauprodukt-EPDs ist durch die *EN 15804* geregelt, welche dieser Wirkungskategorien mindestens dargestellt sein müssen.

Den «Carbon Footprint» finden wir in den umfangreichen EPD-Ergebnistabellen durch die Wirkungskategorie «Treibhauspotential« (engl. *global warming potential GWP*) repräsentiert. Bei näherer Betrachtung stellen wir jedoch fest, dass dieses Treibhauspotential eine weitere Untergliederung erfährt: Es gibt das *GWP-fossil, GWP-biogen* sowie das *GWP-luluc*, zusätzlich wird die Summe dieser drei Kategorien ist als *GWP-gesamt* ausgewiesen. Doch welche dieser Werte ist nun **der** «Carbon Footprint»? Anhand eines bewusst einfach gewählten Beispiels sollen die Subkategorien des Carbon Footprints kurz vorgestellt und erläutert werden. Abbildung 1 zeigt zu diesem Zweck einen Ausschnitt der Ergebnistabelle der Ökobilanz für einen Kubikmeter technisch getrocknetes und gehobeltes Schnittholz.

ANGABE DER SYSTEMGRENZEN (X = IN ÖKOBILANZ ENTHALTEN; ND = MODUL ODER INDIKATOR NICHT DEKLARIERT; MNR = MODUL NICHT RELEVANT)

Produktionsstadium			Stadium der Errichtung des Bauwerks		Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium				Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze
Rohstoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport vom Hersteller zum Verwendungsort	Montage	Nutzung/Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau/Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial
A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**	**B7**	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**D**
X	X	X	ND	ND	ND	ND	MNR	MNR	MNR	ND	ND	X	X	X	X	X

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – UMWELTAUSWIRKUNGEN nach EN 15804+A2: 1 m³ Schnittholz technisch getrocknet und gehobelt (503 kg/m³)

Kernindikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
Globales Erwärmungspotenzial - total	[kg CO_2-Äq.]	-6,96E+2	0,00E+0	1,48E+0	8,06E+2	0,00E+0	-4,05E+2
Globales Erwärmungspotenzial - fossil	[kg CO_2-Äq.]	1,01E+2	0,00E+0	1,47E+0	3,95E+0	0,00E+0	-4,04E+2
Globales Erwärmungspotenzial - biogen	[kg CO_2-Äq.]	-7,98E+2	0,00E+0	-2,45E-3	8,02E+2	0,00E+0	-1,01E+0
Globales Erwärmungspotenzial - luluc	[kg CO_2-Äq.]	3,53E-1	0,00E+0	1,18E-2	5,72E-3	0,00E+0	-3,29E-1

Abbildung 1: Ausschnitt aus der Ergebnistabelle der Umwelt-Produktdeklaration EGGER Schnittholz technisch getrocknet [3].

Die Ergebnisse sind nach Lebenszyklusphasen gegliedert. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf das Produktionsstadium A1-A3 – dieser Abschnitt wird auch als «cradle to gate» bezeichnet.

1.1. Die Subkategorie des Treibhauspotentials *GWP-fossil*

In dieser Subkategorie sind alle Emissionen zusammengefasst, die fossilen Kohlenstoffquellen entstammen. Freigesetzt werden diese überwiegend durch Verbrennungsprozesse. Beim Beispiel des Schnittholzes treten fossile Emissionen im geringen Maße bei der Waldbewirtschaftung auf, etwa durch dieselbetriebene Erntemaschinen. Beim Transport des Stammholzes wird wiederum Diesel verbrannt. Im Sägewerk wird elektrische Energie benötigt, die bei der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern verursachten Emissionen finden im *GWP-fossil* ebenfalls Berücksichtigung. Im vorliegenden Beispiel werden im Zuge der Herstellung eines Kubikmeters getrockneten und gehobelten Schnittholzes insgesamt 101 kg CO_2-Äquivalente fossilen Ursprungs emittiert.

1.2. Die Subkategorie des Treibhauspotentials *GWP-biogen*

Diese Subkategorie weist Treibhausgasemissionen aus, die biogenen Ursprungs sind. Da das Baumwachstum auch in die Produktionsphase hineinzählt, wird das aus der Atmosphäre aufgenommene CO_2 mit einem negativen Vorzeichen dargestellt. Schließlich handelt es sich nicht um eine Emission, sondern um eine klimaentlastende Reduktion von atmosphärischem CO_2. Tatsächliche biogene Emissionen, die beispielsweise biologischen Abbauprozessen entstammen, werden –sofern vorhanden- mit diesem Wert verrechnet. Insgesamt sind beim Schnittholz die biogenen Emissionen mit einem Wert von -798 kg CO_2-Äquivalente im deutlich negativen Bereich.

1.3. Die Subkategorie des Treibhauspotentials *GWP-luluc*

Im Fokus dieser Subkategorie stehen Änderungen im Kohlenstofffbestand von **Böden**. Hinter der Abkürzung *GWP-luluc* verbergen sich Emissionen, die durch Veränderungen des Kohlenstoffbestandes durch Landnutzung und Landnutzungsänderungen entstehen. Dies sind beispielsweise Humusauf- und -abbauprozesse durch die Bewirtschaftungsweise von Flächen oder deren Umnutzungen. Gemäß der *EN 15804* kann die Angaben dieser Kategorie entfallen, wenn der Beitrag des *GWP-luluc* weniger als 5 % von *GWP-gesamt* über die deklarierten Module mit Ausnahme von Modul D ausmacht.

Am Beispiel des Schnittholzes aus nachhaltiger Forstwirtschaft fällt das *GWP-luluc mit* 0,353 kg CO_2-Äquivalente erwartungsgemäß gering aus. Einbezogen ist hier auch der Flächenverbrauch des Sägewerkes und der Holzlagerflächen am Produktionsstandort.

1.4. Der Summenwert *GWP-gesamt*

Alle Emissionen der oben vorgestellten Subkategorien ergeben in Summe das *GWP-gesamt.* Ein Kubikmeter Schnittholz hat nach den Ökobilanzergebnissen in Abbildung 1 demnach ein globales Erderwärmungspotential von -696 kg CO_2-Äquivalenten. Das negative Vorzeichen bedeutet, dass insgesamt mehr Kohlendioxid während des Wachstums aufgenommen wird, als an anderer Stelle während Ernte, Transport und Verarbeitung freigesetzt wird.

1.5. Der Carbon Footprint (CFP) nach *ISO 14067*

Die internationale Norm *ISO 14067* zum Carbon Footprint von Produkten definiert allgemein die Grundsätze, Anforderungen an und Leitlinien für die Quantifizierung des Carbon Footprint (CFP) von Produkten, nicht nur für Bauprodukte [4]. Der Carbon Footprint entspricht dem in Abschnitt 1.4 beschriebenen *GWP-gesamt*, die Norm fordert ebenfalls zwingend die zusätzliche und separate Ausweisung der emittierten fossilen, biogenen und landnutzungsbedingten Treibhausgase. Diese Unterscheidung entspricht den in Abschnitt 1.1-3 beschriebenen Subkategorien. Abweichend zur Norm wird der Produkt Carbon Footprint in der Praxis häufig als «PCF» abgekürzt.

1.6. Wann ist ein Produkt «klimaneutral»?

In den vergangenen Jahren begegneten uns als «klimaneutral» beworbene Produkte und Dienstleistungen immer häufiger. Jedoch sind auch Klagen seitens Verbraucherschützern oder Wettbewerbszentralen wegen irreführender oder intransparenter Werbeaussagen einer breiteren Öffentlichkeit bekannt geworden, besonders hat dies den Bereich der Lebensmittel- und Textilindustrie sowie dem Einzelhandel betroffen [5].
Eine verbindliche Regulierung seitens des Gesetzgebers gibt es in Deutschland derzeit nicht. Auf EU-Ebene wird aktuell an der «Directive on Green Claims» gearbeitet, um diesen Graubereich zukünftig zu regeln [6].

Obwohl es mittlerweile den internationalen Standard *ISO 14067* zum Carbon Footprint von Produkten gibt, begegnen uns noch immer unterschiedliche Interpretationen und Bewertungen dieses Begriffes. Das heißt, wir können zwar
- Mithilfe der Ökobilanzierung den Ausstoß fossiler Emissionen im Laufe der Produkterzeugung hinreichend objektiv beziffern sowie
- gemäß der *ISO 14067*-Kriterien den Carbon Footprint eines Produkts (CFP) ausweisen, anhand dessen die Umweltleistung dieses Produktes mit anderen verglichen werden kann.

Wie genau diese Ergebnisse nun kommuniziert werden können oder dürfen ist nicht Gegenstand der *ISO 14067.*

Kommen wir zurück zu unserem einfachen Beispiel, dem Schnittholz. Ist das Schnittholz aus Abbildung 1 klimaneutral? Je nach Standpunkt kann die Antwort hier lauten:

1. **Ja**, sogar mehr als das! Mit einem Carbon Footprint von -696 kg CO_2-Äquivalenten ist es sogar *klimapositiv*!
2. **Nein**, denn es werden im gesamten Herstellungsprozess 101 kg CO_2-Äquivalente an fossilen Emissionen freigesetzt. **Aber** durch die Finanzierung von Klimaprojekten in Drittländern werden diese Emissionen **kompensiert**. Das Produkt kann anschließend von einem **privatem Label-Unternehmen** als «klimaneutral» deklariert werden.
3. **Nein,** denn es werden im gesamten Herstellungsprozess 101 kg CO_2-Äquivalente an fossilen Emissionen freigesetzt. Das Unternehmen verpflichtet sich daher, diese Emissionen im Rahmen seiner **Unternehmens-Klimaziele** durch ambitionierte Maßnahmen langfristig auf null zu senken. Am Ende der «Route to **NetZero**» des Unternehmens werden auch seine Produkte klimaneutral sein.

Antwort 1 ist nach der *ISO 14067* zum Carbon Footprint von Produkten in dieser Form **nicht zulässig**, da der im Produkt gespeicherte biogene Kohlenstoff separat ausgewiesen werden muss und nicht mit dem Carbon Footprint verrechnet werden darf.

Antwort 2 schneidet das Thema der umstrittenen **Klima-Kompensationen** mittels sogenannter «Klimaprojekte» an. In der Normensprache handelt es sich bei diesen Kompensationsprojekten um «CO_2-Verrechnungen» außerhalb der Systemgrenzen. Hinsichtlich deren Kommunikation hält sich die *ISO 14067* explizit zurück. Die Kommunikation von Footprint-Angaben und entsprechende Aussagen zur CO_2-Verrechnung und Klimaneutralität werden in *ISO 14026* [7] und *ISO 14021* [8] behandelt. Hierin wird gefordert, dass missverständliche oder täuschende Formulierungen zu unterlassen sind –eine vage Forderung, die mitunter von Gerichten entschieden werden muss [5]. Es handelt sich bei Kompensationen um keine echte Reduktion fossiler Emissionen – die im Projekt an anderer Stelle eingesparten Emissionen stößt das kompensierende Unternehmen dann selbst aus. Aufgrund des Klagedruckes seitens der Verbraucherschützer werden Produkte, die über das Mittel der Kompensation als «klimaneutral» gelabelt werden, inzwischen meist eindeutig als solche gekennzeichnet.

Mit der **Antwortvariante 3** schließlich wird die reine Produktebene verlassen und die Klimaleistung des Produktes in den Zusammenhang mit **Klimazielen auf Unternehmensebene** gestellt. Auch für die Klimaneutralität auf Unternehmensebene ist mit der *ISO 14068* ebenfalls eine internationale Norm in Arbeit, noch befindet sie sich allerdings im Entwurfstadium [9]. Dieser Aspekt schlägt die Brücke zum folgenden Kapitel, in welchem der Carbon Footprint auf Unternehmensebene betrachtet wird.

2. Der Carbon Footprint von Unternehmen: Durch Dekarbonisierung ins postfossile Zeitalter

Vor dem Hintergrund des EU Greendeals [10] und der damit verbundenen Zielstellung, bis zum Jahr 2050 klimaneutral zu wirtschaften, befassen sich immer mehr Unternehmen mit ihrem Treibhausgasausstoß und entwickeln qualifizierte Klimaziele. Durch eine **Dekarbonisierung** der Wirtschaft soll auf die Verbrennung fossiler Energieträger zukünftig verzichtet werden, um so den menschengemachten globalen Temperaturanstieg zu begrenzen. Im Fokus der Anstrengungen stehen somit bei den meisten Unternehmen die **fossilen Emissionen**. Im Gegensatz zu den Carbon Footprints von Produkten werden die Emissionen von Unternehmens-Footprints verschiedenen Klassen zugeordnet, den sogenannten Scopes. International genormt sind die Unternehmens-Footprints durch das Greenhouse Gas Protocol [11]. Im Folgenden sollen diese Emissionsklassen kurz vorgestellt werden.

2.1. Scope 1: Direkte Emissionen

In dieser Emissionsklasse sind alle Treibhausgas-Emissionen zusammengefasst, die innerhalb des Werkszaunes auftreten. Typische Emissionsquellen dieser Klasse sind Verbrennungsprozesse zur Wärmegewinnung oder Antriebe von Fahrzeugen, die am Produktionsstandort eingesetzt werden. Diese Emissionen sind von den Unternehmen direkt beeinflussbar.

2.2. Scope 2: Indirekte Emissionen aus eingekaufter Energie

Scope 2 Emissionen entstehen beim Energieerzeuger des betrachteten Unternehmens, es handelt sich quasi um die Scope 1 Emissionen des Energieerzeugers. Durch ihren Energieverbrauch und die Wahl des Energieversorgers haben Unternehmen auch auf Emissionen dieser Kategorie einen direkten Einfluss.

2.3. Scope 3: Indirekte Emissionen innerhalb der Wertschöpfungskette

Im Scope 3 werden alle weiteren indirekten Emissionen zusammengefasst, die durch die Unternehmenstätigkeit verursacht werden. Abbildung 2 zeigt am Beispiel des Holzwerkstoffherstellers EGGER die verschiedenartigen Elemente dieser umfangreichsten Emissionsklasse. Der Energieverbrauch ist erneut aufführt, im Gegensatz zu den Scope 2 Emissionen sind hier jedoch die Emissionen aus der Brennstoffvorkette gemeint.
Von allen Kategorien ist Scope 3 am schwersten zu erheben und auch am schwersten für Unternehmen zu beeinflussen. Aber das Befassen mit diesen indirekten Emissionen lohnt sich: Gerade im produzierenden und verarbeitenden Gewerbe ist diese Klasse für einen Löwenanteil an den Gesamtemissionen verantwortlich. Der Großteil der Scope 3 Emissionen der EGGER Gruppe wird durch den Zukauf nicht-holzbasierter Rohstoffe verantwortet. Insbesondere Chemikalien und Kunststoffe haben oftmals einen – im Verhältnis zu ihrer eingekauften Menge – verblüffend großen Carbon Footprint. **An dieser Stelle schließt sich der Kreis zu den in Kapitel 1 beschriebenen Produkt – Carbon Footprints, da sie als Umweltlast über die Lieferkette sprichwörtlich mitgekauft werden.**

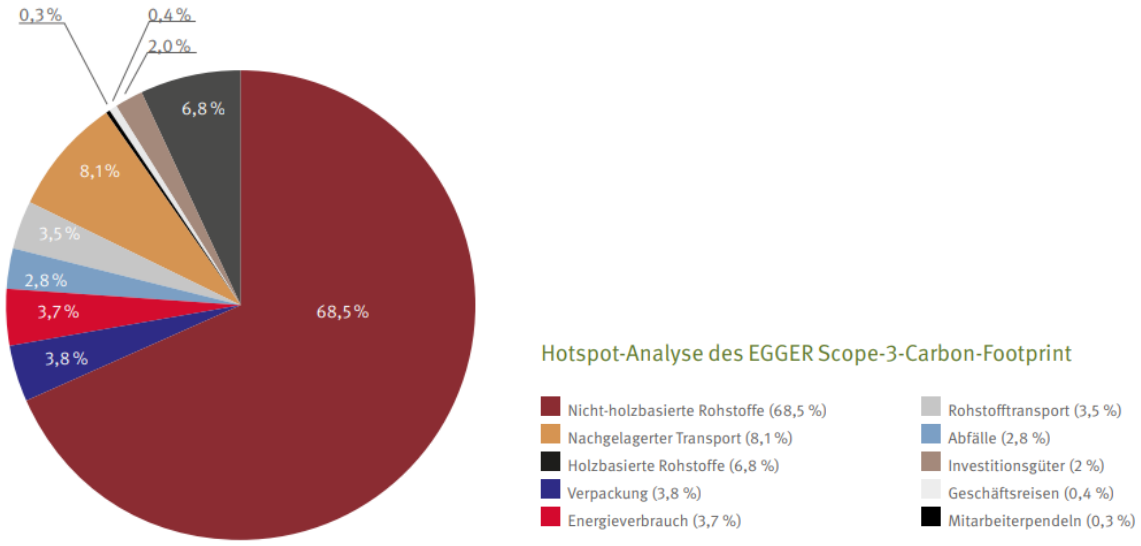


Abbildung 2: Verteilung der Scope 3 Emissionen der EGGER Gruppe.
EGGER Nachhaltigkeitsbericht 2021/2022 [12].

2.4. Mit *net-zero* Klimazielen zur Klimaneutralität

Kennt ein Unternehmen seine Emissionen, kann es sich Klimazielen verpflichten. Diese können frei gewählt sein oder einem Standard folgen. Ein international weit verbreiteter Standard ist die Science Based Targets Initiative (SBTi) zur Setzung wissenschaftlich fundierter Klimaziele [13]. Unternehmen, die dieser Initiative beitreten, werden geprüft, ob ihre gewählten Klimaziele geeignet sind, die Ziele des Pariser Abkommens einzuhalten – also die Erderwärmung auf 1,5°C zu begrenzen. Langfristig sollen die Unternehmen bis zum Jahr 2050 klimaneutral (engl. *net-zero*) werden. Diese Neutralität muss durch Emissionsvermeidung erreicht werden. Nicht vermeidbare Restemissionen können nur durch echte Reduktion von CO_2 aus der Atmosphäre ausgeglichen werden. Kompensationen wie in Absatz 1.6 beschrieben sind hierfür nicht zulässig.
Die für die Erreichung der SBTs erforderlichen Reduktionsraten sind sehr hoch und müssen die Emissionen aller Scopes umfassen. Als drängendstes Problem der Gegenwart gelten die **fossilen** Emissionen. Oft wird daher nicht oder nur implizit erwähnt, dass sich die **verabschiedeten Zielen** auf die **fossilen Emissionen** eines Unternehmens beziehen. Für Unternehmen, die die im Rahmen ambitionierter Klimaziele die Scope 3 Emissionen in ihrer Lieferkette reduzieren wollen, ist es daher relevant, gezielt Produkte mit einem niedrigem *GWP-fossil* (siehe Abschnitt 1.1) einzukaufen.

2.5. Der Einfluss der Lieferketten-Emissionen am Beispiel der beschichteten Spanplatte

Dieser Abschnitt befasst sich mit denjenigen Scope 3 Emissionen, die dem **Rohstoffankauf** entstammen und somit dem **Produkt Carbon Footprint** der eingekauften Güter widerspiegeln.

Wie in Abbildung 3**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt, besteht eine beschichtete Spanplatte zu einem Großteil von 84% aus Holz – Sägenebenprodukte, Post-Consumer-Recyclingholz und Frischholz. 15% der Produktzusammensetzung fallen auf Bindemittel, Tränkharze und Additive. Für die Beschichtung ist 1% Papier notwendig.
Diese Verteilung repräsentiert auch in etwa die eingekauften Rohstoffmengen der gesamten EGGER Gruppe. Vergleicht man diese Mengenverhältnisse mit der Scope 3 Analyse in Abbildung 2 fällt auf, dass die holzbasierten Rohstoffe nur für 6,8% der der im Geschäftsjahr 2021/2022 berichtete Scope 3 Emissionen verantwortlich sind. Die nicht-holzbasierten Rohstoffe hingegen verantworten 68,5% der Scope 3 Emissionen, obwohl ihr Mengenanteil gegenüber den holzbasierten Rohstoffen nicht einmal ein Fünftel beträgt [12]. Um die Scope 3 Emissionen der Holzlieferkette zu senken, müssten beispielsweise

emissionsfreie Fahrzeuge in der Waldpflege und Holzernte eingesetzt werden. Der Hebel zur Emissionssenkung ist jedoch bei den nicht-holzbasierten Rohstoffen im Verhältnis zur Einkaufsmenge ungleich größer.

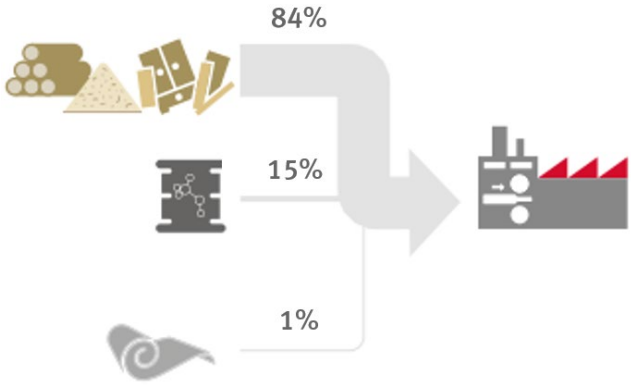


Abbildung 3: Zusammensetzung einer beschichteten Spanplatte aus den Komponenten Holz, Chemie und Papier. Angepasste Darstellung aus dem EGGER Nachhaltigkeitsbericht 2021/2022 [12].

Ursächlich hierfür sind die energieaufwändigen Fertigungsprozesse erdöl- oder erdgasbasierter Produkte in der chemischen und Kunststoff-Industrie, ein Großteil der vorgelagerten Emissionen entsteht an dieser Stelle (siehe linke Spalte Abbildung 4). Um die Scope 3 Emissionen zu senken müssen hier neue, emissionsarme Lösungen gefunden werden.

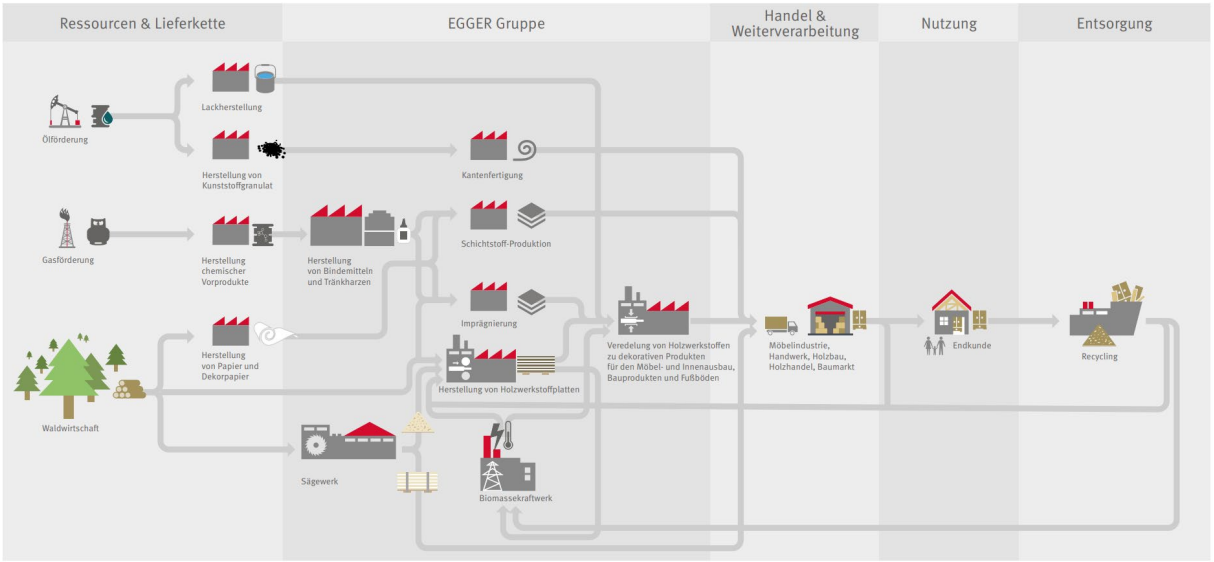


Abbildung 4: Darstellung der gesamten Wertschöpfungskette von Holzwerkstoffen. EGGER Nachhaltigkeitsbericht 2021/2022 [12].

Am Ende des Fertigungsprozesses im Holzwerkstoffwerk entsteht mit der beschichteten Spanplatte ein Produkt, welches nun seinerseits in den Scope 3 Footprint von Kunden in Handel und Weiterverarbeitung, aber auch in den von Endkunden einfließt.

Abbildung 5 zeigt die EPD-Ökobilanzergebnisse einer beschichteten Spanplatte. Im *GWP-gesamt* ist dieses Produkt mit -13,8 kg CO_2-Äquivalenten pro m² bereits negativ. Dies ist durch den hohen Holzanteil im Produkt begründet. Kunden, die dieses Produkt kaufen, dürfen diesen negativen Wert im *GWP-gesamt* allerdings nicht mit ihren eigenen fossilen Emissionen verrechnen und somit ihre Unternehmensbilanz reduzieren. Kunden, die ihre fossilen Scope 3 Emissionen berechnen, müssen statt dessen das Ergebnis für das *GWP-fossil* in ihre Scope 3 Bilanz integrieren. Im untenstehenden Beispiel wären das 3,93 kg CO_2-Äquivalente pro m².

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – UMWELTAUSWIRKUNGEN nach EN 15804+A2: 1 m² Eurodekor beschichtete Spanplatte (11,57 kg/m²)

Kernindikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
Globales Erwärmungspotenzial - total	[kg CO_2-Äq.]	-1,38E+1	0,00E+0	3,68E-2	1,79E+1	0,00E+0	-8,83E+0
Globales Erwärmungspotenzial - fossil	[kg CO_2-Äq.]	3,93E+0	0,00E+0	3,66E-2	9,85E-2	0,00E+0	-8,80E+0
Globales Erwärmungspotenzial - biogen	[kg CO_2-Äq.]	-1,77E+1	0,00E+0	-6,11E-5	1,78E+1	0,00E+0	-2,51E-2
Globales Erwärmungspotenzial - luluc	[kg CO_2-Äq.]	5,66E-3	0,00E+0	2,95E-4	1,43E-4	0,00E+0	-8,13E-3

Abbildung 5: Ausschnitt aus der Ergebnistabelle der Umwelt-Produktdeklaration EGGER Eurodekor beschichtete Spanplatte [14].

Hintergrund ist hier, dass in Biomasse zwar Kohlenstoff gebunden ist, dieser im Vergleich zum Entstehungszeitraum fossiler Kohlenstoffquellen jedoch nicht annähernd lang gebunden bleibt, um deren massive Freisetzung in die Atmosphäre dauerhaft ausgleichen zu können.

Die Ergebnisse von Produktökobilanzen sind nach Lebenszyklusphasen untergliedert. Die Ergebnisse der Lebenszyklusphasen A1-A3 («von der Wiege bis zum Werkstor») sind dabei oft zu einem Summenwert zusammengefasst. Eine Unterscheidung innerhalb dieser Ergebnisse in direkte und indirekte Emissionen entsprechend der *ISO 14067* oder in die Scopes 1-3 nach dem *GHG Protocol* ist anhand dieser Daten nicht möglich [4, 11]. Anhand der Ergebnisdarstellung in Abbildung 5 könnten wir also nicht sagen, wo genau diese Emissionen angefallen sind – im Fertigungsprozess des Holzwerkstoffherstellers oder bereits davor.

2.6. Herausforderung Datenqualität spezifischer Emissionsdaten

Für die Bestimmung ihrer warenbezogenen Scope 3 Emissionen greifen Unternehmen oder deren beauftragte Dienstleister häufig auf Datenbankwerte zurück. Für konventionelle Produkte, deren Produktionsweise sich in den vergangenen Jahren kaum geändert hat, war dies in der Vergangenheit auch kein Problem. Mit den verstärkten gemeinsamen Bestrebungen in Richtung Dekarbonisierung bringt die Suche nach neuen Lösungen vermehrt auch neuartige Produkte auf den Markt. Insbesondere biobasierte Materialien, die fossile Rohstoffe ersetzen sollen, werben häufig mit einem *GWP-gesamt* von Null oder sogar darunter. Wie im vorangehenden Abschnitt erläutert ist es dennoch wichtig, die entstehenden fossilen Emissionen dieser Produkte im Auge zu behalten. Nicht selten ergibt sich ein niedriges oder negatives *GWP-gesamt* nur aus der Verrechnung von im Produkt gespeichertem Biomasse-Kohlenstoff, die Emissionen aus fossilen Rohstoffen und Landnutzung dagegen fallen genauso hoch oder sogar höher aus als bei einem konventionellen Produkt auf fossiler Basis.
Um diese Betrachtungen überhaupt anstellen zu können, müssen diese Daten erst einmal verfügbar sein. Ohne eine solide Datenbasis können individuelle Unternehmenslösungen in der nachgelagerten Lieferkette nicht entlastend auf die Klimabilanz wirken, denn im Zweifel wird dann auf generische Datenbankwerte zurückgegriffen und damit auf konventionelle Produkte und deren Bilanzwerte.

3. Fazit

Welcher Wert ist also **der** «Carbon Footprint»? Die vorangegangenen Erläuterungen zeigen es auf: Unternehmen, die ihre fossilen Scope 3 Emissionen berechnen wollen oder für diese Emissionen bereits Klimazielen gesetzt haben, genügt bei der Einbindung von Carbon Footprints aus Materialien und Rohstoffen ihrer Upstream-Lieferkette **nicht** der Summenwert *GWP-gesamt.* Besonders bei Produkten mit biogenen Bestandteilen ist es essentiell, dass biogene und fossile Emissionen gemäß *ISO 14067* separat ausgewiesen werden.

Das Thema der Produkt Carbon Footprints ist komplex. Die Kommunikation einzelner Teilaspekte gegenüber Verbrauchern sollte nicht missverständlich erfolgen, insbesondere da das Vertrauen von Verbrauchern gegenüber Klimaneutralitätsversprechen bereits reichlich beschädigt ist.

Abschließend soll an dieser Stelle betont werden: Die Aussage eines *GWP-gesamt* ist dennoch nicht völlig bedeutungslos. Die Nutzung von Holz und Biomasse in langlebigen Produkten bindet CO_2 und hält es aus der Atmosphäre zurück. Der Nutzen auch nur vorrübergehender Kohlenstoffspeicherung wird im *GWP-gesamt* anerkannt. Zwar sind die Kontroversen hinsichtlich der Berücksichtigung von Produktlebensdauern im Carbon Footprint noch nicht normativ beigelegt. Der Produktkohlenstoffspeicher bildet dennoch eine wichtige Brücke in eine postfossile Zukunft.

4. Literaturverzeichnis

[1] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

[2] EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021

[3] Umwelt-Produktdeklaration EGGER Schnittholz technisch getrocknet; Hrsg. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU); Ausstellungsdatum 10.05.2021

[4] ISO 14067: Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification; Ausgabedatum 2019-02

[5] Wettbewerbszentrale beanstandet verschiedene Werbungen im Zusammenhang mit der Aussage «klimaneutral» als irreführend und intransparent. https://www.wettbewerbszentrale.de/de/presse/pressemitteilungen/_pressemitteilung/?id=381. Pressemitteilung vom 19.5.2021. Abruf am 5.1.2023

[6] Vorschlag für eine RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die Begründung ausdrücklicher Umweltaussagen und die diesbezügliche Kommunikation (Richtlinie über Umweltaussagen). 2023/0085 (COD), 22.03.2023

[7] ISO 14026 Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Grundsätze, Anforderungen und Richtlinien für die Kommunikation von Fußabdruckinformationen (ISO 14026:2017); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14026:2018

[8] ISO 14021 Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Umweltbezogene Anbietererklärungen (Umweltkennzeichnung Typ II) (ISO 14021:2016 + Amd 1:2021); Deutsche Fassung EN ISO 14021:2016 + A1:2021

[9] ISO 14068:2022(E) Greenhouse gas management and climate change management and related activities – Carbon neutrality (draft)

[10] Verordnung (EU) 2021/1119 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 2021 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 401/2009 und (EU) 2018/1999 («Europäisches Klimagesetz»)

[11] Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard, Revised Edition 2004

[12] EGGER Nachhaltigkeitsbericht 2021/2022. https://www.egger.com/de/ueber-uns/umwelt/nachhaltigkeitsberichte. Abruf am 5.1.2023

[13] SBTi Corporate net-zero standard version 1.0, Oktober 2021

[14] Umwelt-Produktdeklaration EGGER Eurodekor beschichtete Spanplatte; Hrsg. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU); Ausstellungsdatum 10.05.2021

Certified Biobased Adhesives for Timber Construction

– The Transition to a Circular Economy with Renewable Carbon

Dr. Christian Fild
Henkel
Sempach, Schweiz



Certified Biobased Adhesives for Timber Construction – The Transition to a Circular Economy with Renewable Carbon

1. Abstract

The construction industry is undergoing a transformation towards sustainability, specifically with the use of mass timber products as a promising avenue towards not only a circular economy, but also the defossilization of building materials, and the reduction of CO_2 emissions. Central to this transformation is the role of load-bearing adhesives, which enable the construction industry to use modern mass timber products and shift away from concrete and steel.

By enabling timber construction, load-bearing adhesives already contribute significantly to sustainability. Nonetheless, the adhesives industry is constantly looking for ways to improve its products' footprint further to support the transition to renewable materials. This can be done by making mass timber production more efficient, or by enabling a wider use of timber construction; or by increasing the use of renewable carbon in the adhesives themselves.

This paper discusses the integration of renewable carbon resources[1] in load-bearing adhesives as a strategy towards a more circular economy for a reduction in the carbon footprint while advancing defossilization. By showcasing two adhesive products from our portfolio, we demonstrate how incorporating renewable carbon can substantially enhance sustainability in timber construction. The paper also explains the concept of mass balance as a key approach to facilitate the transition to a more sustainable and environmentally responsible future.

2. Introduction

The construction industry is shifting towards environmentally responsible practices, with mass timber construction gaining popularity due to its ecological and economic advantages[2]. Certified load-bearing adhesives have enabled modern timber construction and are thus an important lever to accelerate sustainable construction. However, the adhesives industry also has to constantly address its carbon footprint. The need to reduce carbon emissions and promote circularity and defossilization are critical goals in this context.

This points to a general challenge that adhesives share with most chemical products. By far the largest contribution to the overall carbon footprint of any chemical in a cradle-to-gate view can be traced to the raw materials used[3]. The remainder of the footprint stems from the energy used in production and along the supply chain.

We first draw a parallel to the energy industry. In order to significantly reduce the carbon impact of primary energy use, the industry needs to transition away from the use of fossil fuels to renewable energy. The energy industry has taken first steps by growing the share of renewable energy generation over time. According to the IEA[4] the total generation of electricity from renewable resources increased from 23% to 28% between 2015 and 2021.

[1] vom Berg, C. and Carus, M. et al.
2023: Renewable Carbon as a Guiding Principle for Sustainable Carbon Cycles. Editor: Renewable Carbon Initiative (ed.), Hürth 2023
[2] UNEP Building Materials and the Climate, 2023
[3] Tamoor, M., Samak, N. A., Yang, M., & Xing, J. (2022). The Cradle-to-Cradle Life Cycle Assessment of Polyethylene terephthalate: Environmental Perspective. Molecules (Basel, Switzerland), 27(5), 1599.
[4] IEA Renewable Energy, 2022

In the same way, the chemical industry needs to transition away from fossil resources to renewable ones. Decarbonization as in the energy industry is not an option since carbon is the essential building block in most chemical products. The task is thus to replace existing products that are made with fossil carbon with those made with renewable carbon sources.

There is a number of pathways to create a circular value chain based on renewable carbon in chemicals.[5] Raw materials can come from biomaterials, recycled materials, or from capturing CO_2 from the atmosphere and converting it to hydrocarbons.[6]

In adhesives, the current focus in the transition from fossil to renewable resources is on biomaterials. Biobased raw materials can come through two different approaches. Firstly, direct biobased molecules can be used to offer a new chemistry, as an alternative to what is used today, for example, lignin and betulin.

Secondly, renewable carbon can enter the existing chemical production as feedstock at the very beginning of the value chain. This usually starts with bionaphtha. Bionaphtha is one of the products derived from the processing and refining of a number of starting materials, such as recycled vegetable oil, bio-waste, or animal fat.[7]

In this second approach a renewable resource (bionaphtha) replaces fossil-based naphtha while yielding the exact same chemical molecules throughout the full chemical value chain.

We argue that both approaches to biobased materials described above are necessary to transition to a sustainable future. Taking the example of two products from Henkel's adhesive portfolio for the timber construction industry, we will show how a transition to a circular economy and a renewable carbon chain can be achieved while reducing the carbon footprint.

3. Transitioning to renewable carbon and sustainable adhesives

The paper presents two examples of sustainable adhesives, a one-component polyurethane adhesive, and a two-component polyurethane adhesive, highlighting the substantial reduction in carbon emissions and increased use of renewable materials. In both cases, around two thirds of the organic material can be based on renewable materials, which similarly reduces emissions by about two thirds.

The adhesives make use of two different pathways, specifically the use of direct biobased molecules and the use of renewable carbon from a biobased feedstock like bionaphtha using the mass balance method. These two pathways are explained in more detail below. We also highlight how the usage of biobased raw materials can be proved and audited along the value chain.

3.1. Direct use of biobased materials

The direct use of biobased materials is to be distinguished from mass-balanced renewable materials (see 3.2). Direct biobased materials utilize chemical molecules derived from renewable resources, such as plants or algae, and available as such molecules (or their precursors) in the plant. The level of renewable content in the final products can vary, ranging from 100% to partial inclusion.

[5] Henkel. (2022, May 6). A circular economy for carbon – the key to a sustainable chemical industry. https://www.henkel.com/spotlight/2022-05-06-a-circular-economy-for-carbon-the-key-to-a-sustainable-chemical-industry-1657414

[6] Kaiser, Simon & Gold, Stefan & Bringezu, Stefan. (2022). Environmental and economic assessment of CO_2-based value chains for a circular carbon use in consumer products. Resources Conservation and Recycling. 184. 106422. 10.1016/j.resconrec.2022.106422.

[7] Rob Roe. (2022, May 9). Bionaphtha: The Renewable Alternative to Fossil-Based Naphtha. *Omni Tech*. https://www.henkel.com/spotlight/2022-05-06-a-circular-economy-for-carbon-the-key-to-a-sustainable-chemical-industry-1657414#item2

Direct utilization of biobased raw materials offers some advantages. It is a very intuitive approach, and origins are easy to track. Many direct biomaterials offer unique properties. However, the challenge of varying availability and consistency of feedstocks must be considered. Additionally, some direct biobased materials show low thermal resistance, vulnerability to degradation, and low processability[8]. Often there is a need for novel technologies, additional research, and in particular significant investment in new production assets.

To prove the content of direct biobased materials, the final products are regularly analyzed by carbon-14 radiocarbon analysis.

Carbon-14 (C-14) is a radioactive isotope of carbon and occurs in small amounts in the Earth's atmosphere. C-14 is present in molecules of atmospheric carbon dioxide. It is absorbed from the air by green plants via photosynthesis and then passed on to animals through the food chain.

C-14 radiocarbon analysis is like a special clock that helps scientists determine the age of organic substances. When organisms are alive, they keep taking up C-14 from the atmosphere. Once the organisms are dead, they then stop taking it up, so that the amount of the C-14 steadily decreases.[9] By measuring how much C-14 is left in a material, we can estimate how long ago the organism was alive. This functionality makes C-14 radiocarbon analysis a valuable tool for identifying bio-based carbon sources.

By analyzing the C-14 content in a material, researchers can distinguish between carbon that originated from recent biobased sources and carbon that comes from fossil-based sources.

One of our products, the two-component polyurethane adhesive, is partially based on direct biobased materials.

3.2. Mass-Balance Approach

Defossilization, or the shift from fossil-based carbon resources to renewable and circular carbon sources, is a critical process for the reduction of CO_2 equivalent emissions. However, complete defossilization remains a complex and ongoing process, requiring collaboration between governments, industries, and consumers. In order to offer a pathway to a fossil-free future in the chemical industry, it is important to offer a gradual conversion similar to the approach that proved successful in renewable energy.
The mass-balance approach allows companies to gradually integrate renewable and circular carbon resources into their existing infrastructure without requiring immediate and complete restructuring. At the same time, mass balance makes it possible to ensure the correct tracking and allocation of renewable feedstock (the total input and the total output are balanced).

To illustrate the principle of mass balance, we take the electricity grid as an example. The electricity grid is fed by a heterogeneous array of electricity sources, such as nuclear, coal, and solar energy. Consumers have the option to procure either environmentally-friendly energy from renewable sources, or a standard mix, including electricity derived from gas- or coal-fired power plants. Nevertheless, in reality, all electricity generation is combined and conveyed through the identical grid infrastructure to all end users. It is critical that an audit proof system is in place to guarantee that the amount of renewable energy sold matches the amount generated.

Analogously, in the chemical industry, the whole production process can start with renewable carbon resources or fossil-based resources. Consumers may elect either those products produced utilizing renewable and circular carbon resources, or products from fossil-derived materials. In practicality, all raw materials are combined and processed within the same production pipeline, employing a mass-balance methodology.

[8] Abe MM*, et. al*. (2021). Advantages and Disadvantages of Bioplastics Production from Starch and Lignocellulosic Components. Polymers.13(15):2484.
[9] Kutschera, W. (2019). The Half-Life of 14C—Why Is It So Long? Radiocarbon, 61(5), 1135-1142.

This mass-balance approach accelerates the transition by allowing us to use existing assets and prevent unnecessary separation of supply chains. It allows easy use of drop-in renewable-carbon materials in already existing products, processes, and infrastructure. On top of this, and most importantly for timber construction, no additional certification is needed as the product's molecular composition and performance is identical to a fully fossil-based product. The proportion of renewable carbon that can be achieved in the final product depends on real physical pathways through the chemical production chain. Mass balancing does not allow for a CO_2 accounting system in which credits can be bought for claiming 100% biobased in cases where no physical production pathway exists.

To achieve highest transparency and credibility for mass balancing, external certification regimes are essential to prove claims about mass-balanced content. Today, three certification schemes, ISCC[10], REDCert[11], and RSB[12], are generally used for both bio-based and recycled content.

Henkel's two products, both containing mass-balance materials, are certified by ISCC PLUS, a global sustainability certification system. This system emphasizes traceability in supply chains, ensuring compliance with sustainability criteria and credible claims.

4. Biobased formaldehyde-free adhesives for timber construction

Henkel offers a large number of adhesives with varying degrees of biobased materials for a large variety of industries. For applications in timber construction, two products are commercially available that show a significant reduction in the use of fossil raw materials and thus a significant reduction in their carbon footprint.

4.1. LOCTITE CR 821 ECO

LOCTITE CR 821 ECO is a next generation two-component formaldehyde-free polyurethane adhesive that enables sustainable invisible connections of wooden construction elements, combining strength and aesthetics. Robustness and easy handling compared to conventional technologies are additional benefits of LOCTITE CR 821 ECO. It is certified in Europe for glued-in rods and wood connections using steel plates.

LOCTITE CR 821 ECO consists of a polyol part and an isocyanate part, with a volume ratio of 2 to 1, respectively. The polyol part is produced with direct biobased content derived from renewable raw materials, such as soybean oil, rapeseed oil, sunflower oil, and their derivatives. The isocyanate part is linked to 60 weight percent ISCC PLUS certified material via the mass balance approach using bio-circular feedstock. Overall, 71% of the organic mass of the cured adhesive is made from biobased materials.[13]

Looking at the carbon alone, around 75% of the carbon atoms come from renewable sources. We have successfully made a big step in the transition from fossil-based carbon to renewable carbon, which leads to a lower climate impact. LOCTITE CR 821 ECO achieves 62% reduction in the CO_2 equivalent emissions compared to a fossil-based version as confirmed by an inhouse cradle-to-gate life cycle assessment.[14]

[10] ISCC. (n.d.). *Certification- ISCC System.* Retrieved October 9, 2023, from https://www.iscc-system.org/certification/
[11] REDcert. (n.d.). *REDcert² – for the use for material purposes.* Retrieved October 9, 2023, from https://www.redcert.org/
[12] RSB. (n.d.). RSB is a collaborative network of global organisations advancing the transition to a bio-based and circular economy.. Retrieved October 9, 2023, from https://rsb.org/
[13] Based on LCA information received from the suppliers of the relevant raw materials; figures are subject to changed if suppliers amend or change their raw material LCAs.
[14] European Platform on LCA. (n.d.). *Life Cycle Assessment (LCA).* Retrieved October 9, 2023, from https://eplca.jrc.ec.europa.eu/lifecycleassessment.html

4.2. LOCTITE HB S ECO

LOCTITE HB S ECO products are an extension of the LOCTITE HB S line of one-component formaldehyde free polyurethane adhesive. LOCTITE HB S has been used in the mass timber industry for over a decade, with wide-spread application for the manufacturing of cross laminated timber (CLT), glulam beams, and finger-jointed timber. In the biobased version, 63% of the organic mass of LOCTITE HB S ECO adhesive is linked to ISCC PLUS certified materials via mass balance approach using bio-circular feedstock.[13] These new products achieve a reduction of 66% CO_2 equivalent emissions compared to the fossil-based version as confirmed by an inhouse cradle-to-gate life cycle assessment.[14]

5. Conclusion

The imperative shift from fossil-based to renewable carbon sources stands as a central endeavor across various industries in the forthcoming years. This paper places a distinct emphasis on the significance of this transition and elucidates its practical application in the context of load-bearing timber adhesives, thus contributing to the broader discourse on sustainability.

The transition is highlighted by two adhesive products presented in the paper. Both of the products contain a significant amount of biobased content, exceeding half of their organic mass component, achieving an appreciable reduction in the cradle-to-gate carbon footprint. This substantial reduction, achieved by the utilization of biobased resources, illustrates the potential for sustainable adhesives to advance environmental responsibility.

Sustainable adhesives play a big role for the reduction of carbon footprints in mass-timber products. By directly tapping into biobased resources and leveraging a mass balance approach, these adhesives hold the potential to significantly curtail their environmental impact, thereby contributing to the overarching goal of enhancing sustainability within the building construction sector.

Glued stressed skin and rib elements, reinforcements and repair – the enhanced possibilities of the new DIN 1052 – 10 + 11

Simon Aicher
MPA Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland



Glued stressed skin and ribbed elements, reinforcements and repair – the enhanced possibilities of the new DIN 1052 – 10 + 11

1. Introduction

In parallel to Eurocode 5-1-1 (EN 1995-1-1 [1]) briefly termed EC5, German timber building construction relies on three major additional standards not counting the documents for fire and bridge design. Firstly, there is the National Annex to EC5, DIN EN 1995-1-1/NA [2], containing nationally determined parameters (NDPs) such as e.g. safety factors and non-contradictory complementary information (NCIs). The NCIs for instance relate to holes in beams or glued-in rods, not addressed in the present EC5 version.

With regard to bonding operations and respective control and glued products not covered by European harmonized standards, for instance EN 14080 [3] for glulam, the NA document refers to standard DIN 1052 – 10 [4]. So, e.g. in NCI NA 11 [2], addressing glued connections and compound elements made of glulam and CLT it is stated i.a. that a company / the manufacturer performing bonding operations must hold a bonding qualification certificate acc. to DIN 1052-10, hereinafter termed bonding certificate. Further details specified in [4], following termed DIN 1052 – 10 _old, are stated below.

Thirdly, in 2022 standard DIN 1052 – 11 [5] has been issued, addressing factory production control, third party duties and certification procedures of prefabricated wall, floor and roof elements, following termed stressed skin elements, which may be manufactured either with mechanical fasteners or by bonding. The interrelation of DIN 1052 –10 _old and _new and the recent DIN 1052 – 11 becoming a mandatory building regulation document in 2024 is revealed below.

The tedious revision process of DIN 1052 – 10_old having started in 2018 is finished and DIN 1052-10_new [6] will be published in 2024. The new DIN 1052 – 10 addresses very roughly the same contents as the previous version, now however in much deepened manner in conjunction with significantly widened bonding possibilities and advanced bonded products. This contribution highlights some of the enhanced possibilities of DIN 1052 – 10 _ new related to new stressed skin and ribbed elements including its respective differences, reinforcements of new products and in repair state. In conjunction herewith, the new specifications for screw press gluing are presented. Preceding some aspects of DIN 1052-10_old and DIN 1052-11 are addressed.

2. Present version of DIN 1052-10

In brief the present DIN 1052-10 [6] covers apart from some specifications for fasteners including threaded steel rods and rebars for timber constructions the following bonding related chapters

(5) provisions prerequisite for bonding qualification certificate and certificate classes (Table 2).
(6.1) General requirements on bonding (adhesives, wood materials)
(6.2) provisions on screw press gluing
(6.3) bonded reinforcements
(6.4) connections and reinforcements with glued-in rods
(6.5) bonded scarf joints
(6.6) bonded compound elements made of glulam (GL) and cross laminated timber (CLT)
(6.7) bonded stressed skin elements
(6.8) bonded thin-webbed or truss-type beams

The present DIN 1052-10 regulates in [4], chap. 6 and 7, bonded rib- or box-type elements made with CLT sheathings of thicknesses ≤ 60 mm. In practice the sheathing thickness is restricted to 50 mm representing the maximum sheathing thickness allowed for screw press gluing. This has to be seen in view of the fact that the use of hydraulic presses for element lengths > 12m is economically rather irrelevant. To complement the outlined state of DIN 1052-10 regulations, it should be added, that ribbed plates made of cross-laminated timber (CLT) sheathings and glued-laminated timber (GL) ribs showing spans > 18 m, being curved or fatigue loaded according to plan are termed standard-wise bonded compound elements.

3. Contents of DIN 1052-11 – relation to DIN 1052-10 and European Standardization

Manufacture, quality control and certification of prefabricated load bearing and non-structural wall, floor and roof elements, hereinafter termed stressed skin elements, is so far not standardized on the European level. A respective European harmonized standard FprEN 14732 [7] developed in CEN TC/124 WG5 failed not anticipated, sharply in the enquiry in 2012. Currently two separate non-harmonized standards (with certification provisions reserved to member states) are developed in WG5 separately for elements with mechanically fastened sheathings and bonded elements. The development / work on DIN 1052-10 and -11 actually evolved from the missing European regulations.

Standard DIN 1052 – 11 [5] will represent by end of 2024, then implemented building regulatory-wise in document MVVTB [8], the basis for building regulatory defined certification of both mechanically and adhesively manufactured wood-based stressed skin panels which may have element sheathings on one or both sides of the ribs. Standard [5] will then supersede the present certification basis [8] of mechanically jointed stressed skin elements being in place unchanged since 1992. The mechanically fastened element types M1A, M1B, M1C and M2 addressed in [4] are not regarded in the context of this contribution. Stressed skin panels of type K in [4] relates to elements with one or both sided adhesively fixed sheathings whereby wall, floor and roof elements are partly restricted to different sizes. In all cases / applications the sheathing thickness is restricted to maximally 60 mm (see below).

DIN 1052 – 11 specifies the general aspects of factory production and third-party control leading to certification of the prefabricated elements. In case of the bonded element type K some specifications are given in [4] chap. 8, however, with respect to manufacture and testing reference is made to detailed specifications in DIN 1052 – 10, hence exclusively addressed here.

4. Summary on new version of DIN 1052-10

4.1. General

DIN 1052-10_new addresses most of the contents of the previous, still implemented version, sketched in chap. 2, however, in deepened manner. One topic, being bonded thin-webbed and truss-type beams has been skipped. Newly added are

- chap (4) Requirements on bonded building products made of ribs and sheathings
- chap. (7.7) dealing with repair of cracked timber beams by adhesive injection
- chap. (7.8) Fire behavior of glued (timber) building products
- Annex B (normative) dealing product-overarching comprehensively with factory production control and third-party control
- Annex C (normative) is on testing and assessment of bond shear strength
- Annex D (normative) lists properties of European harmonized products which are mandatory, i.e. excluded from the NPD (no performance declared) option.

The previous scarce specifications on screw press gluing are now extensively handled in normative Annex A.

In this contribution firstly chap. (4) of [6] stating the differences of bonded type K and rib or box elements is presented. Details of these generically different element families handled in [6] in chap. (7.5.2) «Glued rib and box elements» and chap. (7.6) «Bonding of stressed skin panels of type K» are then described below. Further, bonded reinforcement s specified in [6], chap. (7.2), are discussed. Finally screw press gluing given in [6], Annex A, which represents a decisive execution option for both, glued elements and reinforcements is treated.

4.2. Differentiation of characteristics and requirements of bonded elements made of ribs and sheathings

The two geometry- and material-wise resembling glued compounds to be differentiated, both consisting of wooden ribs and sheathings, are on the one side

- glued stressed skin panels with one- or both-sided sheathings following termed stressed skin elements and representing the glued element type K of DIN 1052-11 with limited dimensions and on the other side
- glued rib or box elements characterized by a similar build-up as the type K elements, however, differing essentially by permissible sizes, material types and several other features.

A condensed overview of similarities and differences of both generically resembling glued building products is given in Tables 1a and 1b. Table 1a highlights the respectively permissible rib and sheathing materials and size restrictions, if any, of the components and the elements. Table 1b specifies adhesive and element curvature aspects and whether regular fatigue loading is permissible. Further details on both element types are given below in chapters 5 and 6.

Table 1a: Definitions acc. to [6] for bonded type K stressed skin panels and rib or box elements with regard to element dimensions, materials and sheathing thicknesses

type of element	**element dimensions [m]**			**materials**		**sheathing thickness t [mm]**
	length	**height**	**thickness (structural)**	**ribs[1)]**	**sheathing[1)]**	
bonded stressed skin panels of type K [6], chap. 7.6	Wall: < 16,5 Floor: < 12,5 Roof: < 12,5	Wall: ≤ 3,8 Floor: < 3,5 Roof: < 3,5	Wall: - Floor: ≤ 0,35 Roof: ≤ 0,45	ST FST GL GST LVL-P GLVL - P	OSB RPB PW LVL-C SWP-C CLT	Wall: 8 .. 60 Floor and Roof: 19 … 60
bonded rib or box element [6], chap. 7.5	-	-	-	GL LVL - P GLVL - P	LVL – C GLVL – C CLT	28 … 200

1) The given material abbreviations conform to prEN 1995-1-1:2023 [9]:
ST = Strength graded structural timber with rectangular cross-section
FST = Structural finger jointed timber
GL = Glued laminated timber
GST = Glued structural timber
LVL-P = Laminated veneer lumber (LVL) with parallel veneers
GLVL – P = Glued laminated veneer lumber (GLVL) with parallel veneers

OSB = Oriented strand board
RPB = Resinoid-bonded particle board
PW = Plywood
LVL-C = LVL with crossband veneers
SWP-C = Multi-layered solid wood panel
CLT = Cross laminated timber

Table 1b: Definitions acc. to [6] for bonded type K stressed skin panels and rib or box elements with regard to adhesives and permissibility of curved bond lines and regular fatigue loading

type of element	adhesive type	bond line plane curved affine to rib axis	regular fatigue loading (e.g. bridge component)
bonded stressed skin panels of type K, [6] chap. 7.6	rib tolerance : ≤ 0,5 mm EN 301 I 70 GP 0,6 M w EN 301 I 90 GP 0,6 M w Rib tolerance ≤ 1,0 mm	no	no
bonded rib or box element [6], chap. 7.5	EN 301 I 90 GF 1,5 M w The adhesive has to be provenly apt for the specific range of use)	yes, radius $r \geq 1000 \cdot h_{rib}$ rib height in mm	yes, when individual components are suitable herefore

5. Glued stressed skin elements of type K acc. to DIN 1052-10_new

5.1. Initial type testing (ITT) for product certification

The specifications given in [6] chap. B.6.2. are as follows:

- Bond strength shall be determined for each combination of rib and sheathing material at 30 specimens from at least two elements. The materials ST, FST, GL and GST can be regarded as one rib material class in case the same species is used.
- Bond shear strength testing can be performed by block shear tests acc. to EN 14080, Annex D, or by double lap shear tests acc. to Annex C of DIN 1052-10. Note: the latter test has been previously developed within work on FprEN 14732 [7] and has been frequently applied as this standard has been adopted as a FPC basis in some EU member states.
- Requirements on the characteristic values of bond line shear strength to be evaluated acc. to EN 14358 [10] assuming a lognormal distribution and requirements on the mean value of wood fiber fracture percentage are specified in table B.2 of DIN 1052-10 for different sheathing-rib combinations (e.g. RPB-type P5 or P7, $f_{v,05} \geq 3{,}5$ N/mm² and $FB_{mean} \geq 80\%$). In case of sheathing materials made of SWP or CLT the requirements of table B.2 apply to the individual values and the sample mean.
- d) In case of the elements in service class 2 according to EN 1995-1-1 additionally 30 specimens shall be tested after a 2-cycle boil water treatment acc. to EN 14374, Annex B [11], and subsequent reconditioning at 60°C.

The third-party control comprises the ITT testing, the initial company and production inspection and two regular inspections per year. Significant production changes which have assumingly impact on the product performance necessitate a new initial inspection.
The general provisions of the factory production control (FPC) and of the third-party control (TPC) are specified in chapters 7.2 and 7.3 of DIN 1052-11 and then more precise in case of bonded elements (type K) in normative Annex B of DIN 1052-10_new.

5.2. Factory production control (FPC) and third-party control (TPC)

Annex B [6] comprises as stated above in 4.1 product-overarching the FPC and TPC specifications for

- glued reinforcements (B.2),
- connections and reinforcements with glued-in steel rods (B.3),
- scarf joints (B.4),
- compound elements made of GL and glued rib and box elements,
- stressed skin elements of type K (B.6) and
- repair by adhesive injection (B.7).

The FPC provisions for stressed skin elements given in B.6 comprise

- controls of the incoming products and element components such as e.g. the adhesive,
- the bonding quality denoted by bond line thickness, shear strength and wood fiber fracture percentage and
- the durability of the bonding quality proven i) implicitly at stated frequencies by check of rib and sheathing materials and species (e.g. for compliance with the used adhesive), adhesive properties, moisture content of ribs and sheathings and ii) explicitly by direct control of the bonding operations at each element.

The testing of the bond shear strength and the pretreatment of the specimens in case of use in service class 2 is performed analogous to specifications for ITT given above. Different from ITT the number of specimens is much smaller being two or four specimens from at least two elements per shift in case of element use in service classes 1 and 2, respectively. The compliance with the required characteristic shear strength and mean value of wood fiber fracture (FB) percentage shall be demonstrated with the lower 5% quantile of the strength and mean FB value of the last 20 results in case of dry tested specimens (service class 1). In case of sheathings made from SWP or CLT instead of the 5% quantile, the individual values and the running average shall conform to the requirements.

In case of pretreated specimens for elements used in service class 2 the mean and 5% quantile value of the last 20 results shall conform to material-dependent ratios of the mean and 5% quantile values of the dry tested specimens. The following ratios apply:

- $\frac{f_{v,mean,pretreated}}{f_{v,mean,dry}} \geq 70\% \; and \; \frac{f_{v,05,pretreated}}{f_{v,05,dry}} \geq 50\%$ in case of CLT and SWP and

- $\frac{f_{v,mean,pretreated}}{f_{v,mean,dry}} \geq 70\%, \quad \frac{f_{v,05,pretreated}}{f_{v,05,dry}} \geq 65\%$ in case of LVL and

in case of RPB and OSB the respective strength ratios are 40% and 30%. Further, there are rules for the case that less than 20 specimens are available to be compared to the requirements.

The TPC shall be performed unannounced twice a year to check the performance of the FPC. Hereby specimens shall be taken and tested at appropriate intervals.



Figure 1: Stressed skin element of type K with sheathings on both sides in bending-shear test

6. Bonded rib and box elements acc. to DIN 1052-10_new

6.1. General

Significantly revised specifications for this element type in conjunction with fundamental changes in screw gluing options (see below) represent certainly the most important changes in DIN 1052-10_new vs. the present standard version. The hereinafter briefly outlined new specifications enable ribbed timber constructions to compete with steel and RC at wide span and heavily loaded floors at eye-height.



Figure 2: Rib element with 120 mm thick CLT sheathing and two screw press glued GL ribs

DIN 1052-10_new now enables sheathing thicknesses in the range of 28 mm to 200 mm (see Table 1a) whereby screw press gluing is possible. The permissible sheathing materials are CLT (usually produced from 60 mm onwards), LVL-C (produced up to 90 mm) and GLVL-C made of softwood species. The significantly increased sheathing thicknesses enable timber construction industry to provide certified wooden rib and box elements spanning up to about 30 m based on a comprehensive standardized specification.

It should be mentioned that there have been already screw press glued ribbed plate constructions with such build-ups in the recent years. However, all of these constructions were based on building regulatory decisions in the single case based on extensive testing and expertise, often provided by MPA University of Stuttgart. The results of these tests, e.g. [12 - 14], have contributed to pave the way for the new regulations.

6.2. Requirements on materials and manufacturing process

In order to ensure a high compound performance several specifications apply to the used materials and to the manufacturing process:

- rib materials: GL ribs shall have at least strength class GL20h or GL20c acc. to EN 14080 [3]. Ribs from LVL-P or GLVL-P shall have the following minimum strength properties (in-plane parallel to fiber and edge-wise bending): $f_{t,0,k} \geq 33$ N/mm², $f_{m,0,edge,k} \geq 40$ N/mm², $f_{v,0,edge,k} \geq 4$ N/mm².
- sheathing materials: In case of CLT the «majority» of laminations shall minimally conform to strength classes C18 or T11 acc. to EN 338 [15]. Sheathings made from LVL-C or GLVL-C shall have strength properties as follows: $f_{t,0,k} \geq 18$ N/mm²; $f_{m,0,flat,k} \geq 30$ N/mm², $f_{v,0,flat,k} \geq 1$ N/mm². Note: all required LVL and GLVL material properties are well attained by most products on the market.
- manufacturing: Ribs and sheathings of rib and box elements must be bonded throughout the total interface, i.e. no segmented bonding as in case of compound elements made of GL, not discussed here, is admissible. The bond lines, termed block bond lines, have to be manufactured with a gap-filling polycondensation adhesive conforming to EN 310 I 90 GF 1,5 M w [16].

6.3. ITT and FPC testing and requirements

The manufacturing and product performance controls comprise as in case of the bonded stressed skin panels of type K specific standard prescribed FPC procedures as well as ITT testing and continuous third-party controls (two times per year, unannounced) in conjunction with product certification. Some specifics of ITT, FPC and TPC are given in the following:

a) ITT: The testing and assessment of the block bond lines comprises:
- bond line thickness measurements
- bond line strength / wood fiber fracture percentage tests (element use in service classes 1 and 2)
- bond-line integrity tests being either bond line shear tests after pre-treatment of the specimens or delamination tests acc. to EN 14080, Annex C, method B [3] (for element use in service class 2 only)

The bond line shear tests with dry or pre-treated specimens can be performed with

i) block shear specimens prepared from drill cores with diameters d in the range of 35 to 50 mm. The shear length parallel to fiber and the shear area shall be at least 35 mm and 1500 mm² or 25 mm and 750 mm² in case of d = 50 mm and 35 mm, respectively, or
ii) with block shear specimens acc. to EN 14080, Annex D, cut from cross-sectional stressed skin panels.

The specimens manufactured according to alternatives i) or ii) are tested in compression shear acc. to [3] and evaluated for shear strength and wood fiber fracture percentage. In case the bond line integrity tests are performed with delamination tests the specimen must comprise the whole width of the block bond line. In case the respective dimensions exceed the sizes of the delamination drying oven the specimen can be segmented to specified values.

The requirements on shear strength and wood fiber fracture percentage regarding individual values and mean value conform to EN 14080 section 5.5.5.2.3 [3]. Different hereof in case of LVL (-P or -C) element components from softwoods the characteristic values of the shear strength results and the mean wood fiber fracture percentage shall be $f_{v,05} \geq 3{,}8$ N/mm² and $FB_{mean} \geq 70\%$.

In case of elements used in service class 2 and applying the test / verification option of the pretreated block shear specimens similar provisions as in case of stress-skin panels of type K, specified above, apply. The mean and 5% quantile values of the pretreated specimens are related to the respective values of the dry tested specimens. The required strength ratios conform to the specifications for the type K elements given above. No explicit number of specimens is stated for the ITT tests which should be added for transparency. Additionally to the described bond line tests with block shear and / or delamination specimens in ITT the performance of an element test can be required by the certification body.

b) FPC and TPC
The FPC tests and assessments comply with regard to bond line strength and integrity tests with ITT, however, as in case of the type K elements with a much reduced number of specimens, being two or four per rib or box element depending on the intended use in service classes 1 or 2. TPC is analogous to type K elements.

7. Glued reinforcements

7.1. General

The specifications for glued-reinforcements by laterally glued-on wooden boards or plates and by glued-in rods mentioned in DIN 1052-10_old are now substantially widened and more precise. Some essential basics however remain unchanged. In case of laterally glued reinforcements these are:

i) the exclusive use of a gap-filling adhesive of type EN 301 I 90 GF 1,5 M w and hence a maximum permissible bond line thickness of 1,5 mm and
ii) the optional, generally done realization of the cramping pressure by means of screw press gluing (now specified newly, see below).

In case of glued-in rods not discussed in detail here one important amendment relates to the permissible adhesives. Previously the adhesive had to conform to a German National Building Approval (ABZ). Now there are three routes possible. The adhesive shall either

comply with the tests and requirements set in EN 17334 [17] or conform to either an ABZ or a European Technical Assessment (ETA) for the adhesive or building kit (adhesive and rod). In case adhesives according to an ABZ or ETA are used compliance with several explicit performance requirements stated in [6] D.11 shall be fulfilled in order to ensure equivalency with adhesives acc. to EN 17334.

Very different to the previous version, DIN 1052-10_new now states that the lateral board- or panel-type reinforcements as well as the glued-in rod reinforcements apply equally to new, prefabricated timber structures / elements and to repair works. Two significant exceptions hereof with regard to repair works are stated below in chap. 7.3.

7.2. Laterally glued-on reinforcements

In DIN 1052-10_old no specific sizes and shapes of the reinforcements were mentioned. Implicitly the maximum thickness of the reinforcements was limited by the requirements for screw press bonding restricting the thicknesses of solid wood boards and wood-based panels to 45 mm and 50 mm, respectively. Further, no strength requirements applied to the reinforcement materials and also not to the actually reinforced base materials. The major changes in DIN 1052-10_new are:

- A differentiation between strip-type (edge length aspect ratio of ≥ 4:1) and general plate-type reinforcements is made. Reinforcements of holes by plates with cut-outs are treated as a separate class. Figures 3 and 4 show typical applications of strip-type reinforcements. The reinforcement of a rectangular end-notch of a beam shown in Fig. 3 applies either to a new prefabricated construction element or to a repair situation. Figure 4 highlights a typical repair / upgrading situation where member areas with high shear and tension perpendicular to grain stresses are reinforced. In case of severely cracked members a crack repair by means of a gap-filling adhesive injection acc. to [6], chap. (7.7), would generally be conducted in a first step. The dimensional notations of screw positions shown in Figures 3 and 5 are discussed below in the context of screw press gluing. An example of a plate-type reinforcement of a hole in a member is depicted in Fig. 7.

  The materials permissible for strip-type reinforcements are ST, FST and unidirectional one-layer SWP and further the panel materials LVL-P, LVL-C and PW from beech or birch. In case of LVL-C and PW a low cross-band ratio percentage is stipulated. For general plate-type and hole reinforcements the permissible materials are multi-layer SWPs, PW from softwoods or beech or birch and cross-banded LVL-C. The maximum reinforcement thicknesses depend on the specific type of reinforcement. In case of strip-type and hole reinforcements the maximum thickness is 45 mm whereas in case of general plate-type reinforcements the thickness can be up to 65 mm (formerly 50 mm). The minimum thickness of all reinforcement materials is 12 mm, however, in case of the generally performed screw press gluing an increased minimum thickness of 18 mm applies.

- The standard-specified shear strengths, stiffnesses and classes of the reinforcement materials are given below in exemplary manner:
  - ST shall conform minimally to strength classes C24 or T14 acc. to EN 338 [15]
  - LVL-C shall have minimally strength values of:
    $f_{t,0,k} \geq 18$ N/mm², $f_{m,0,edge,k} \geq 25$ N/mm² and $f_{v,0,edge,k} \geq 4{,}5$ N/mm²
  - PW shall minimally conform to bending strength and stiffness classes of F30/40 and E30/40 acc. to EN 636 [18].

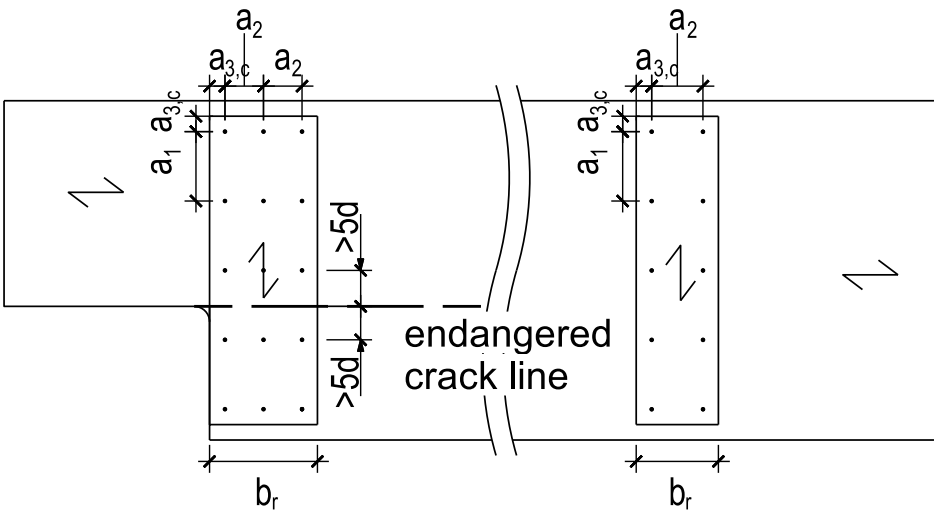


Figure 3: Strip-type reinforcement of a rectangularly end-notched beam performed by screw press gluing. Spacings and edge distances a_1, a_2, $a_{3,c}$ and $a_{4,c}$ are discussed in chap. 8

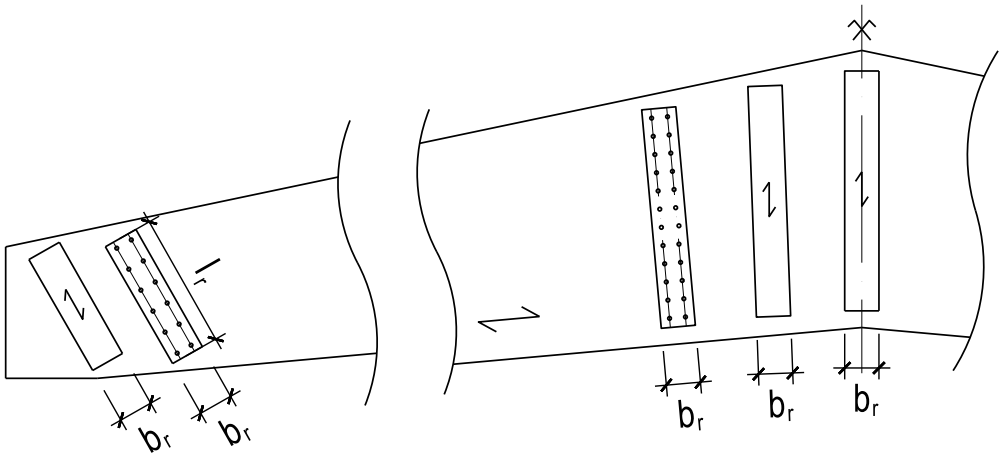


Figure 4: Strip-type reinforcements of an eventually cracked pitched cambered beam in zones of high shear and tension perpendicular to grain stresses

It is important to note that the prescribed reinforcement thicknesses as well as the minimum values on strengths and stiffnesses apply exclusively to prefabricated new products yet are subject to the design engineer in case of repair works (the specified minimum board or panel thickness for screw press gluing however cannot be changed).

7.3. Special repair provisions with lateral reinforcements

Repair of glulam members or / and upgrading of members to higher design loads for changed usage necessitates increased depths and / or widths of the existent beams with rigidly, i.e. bonded reinforcement laminations. An alternative semi-rigid fixation of the reinforcement layer with mechanical fasteners, e.g. self-tapping screws would necessitate an extremely dense fastener pattern and thicker reinforcement laminations. However, somewhat different to mechanical fastened reinforcements bonded member reinforcements necessitate utmost highest experience and qualification of the executing companies and persons. The difficulty of the reinforcement task results mainly from the fact that the surfaces and topology of the repaired / upgraded member are in general very uneven after years or decades of previous impact from mechanical and climate (moisture / temperature) loading. Due to the location of the members in the existing structure execution of the necessary cramping pressure in bonding is in almost all cases exclusively possible by screw press gluing.

Figures 5 a - c show the two principle possibilities of upgrading a GLT member acc. to DIN 1052-10_new with laterally bonded reinforcement laminations which may be glued to the existent beam at the bending tension and / or compression side either at the wide or

narrow member face. The thickness of the reinforcement laminations which can be either ST or LVL-P is restricted to maximally 40 mm. It is important to note that the bonding quality is influenced by the lamination thickness / stiffness interacting with surface unevenness of the upgraded beam. Butt jointed reinforcement laminations of thickness t necessitate an overlapping lamination lash with a thickness of 1,5·t.

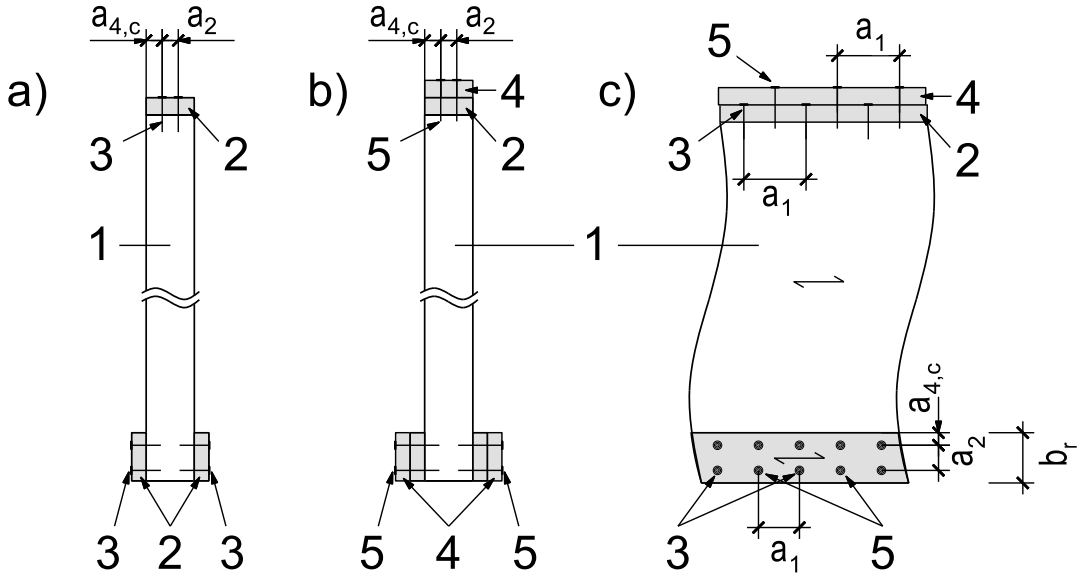


Figure 5: Upgrading (repair) of existent members to increased bending stiffness and strength by means of maximally two laterally screw press glued laminations. The strip-type reinforcements can be glued to the narrow or wide edges at the bending tension- and compression cross-section areas.
1 – reinforced member, 2 – first reinforcement lamination, 3 – screws for bonding of first lamination,
4 – second reinforcement lamination, 5 – screws for bonding of second lamination

8. Screw press gluing

8.1. General and present DIN 1052-10 provisions

Screw press gluing, i.e. the exertion of the cramping pressure by means of screws has been world-wide firstly implemented in DIN 1052-10_old as a superior amendment to the previously well-established nail-press gluing. The latter has been widely applied since the early days of GL manufacture from 1908 onwards for regular bonding of laminations and was implemented for bonding of panel reinforcements and beams in DIN 1052 in 1969 [19].

The specifications on screw press gluing in [4] are very concise with regard to materials and execution. As mentioned above, the thickness of ST laminations and wood-based panels is limited to 45 mm and 50 mm, respectively. The screws with diameter ≥ 4 mm must be self-tapping and partially threaded and conform to building regulatory certification (ABZ or ETA). The thread length in the reinforced base member shall be minimally 40 mm or equal to reinforcement thickness. No thread is permissible in the reinforcement. The latter requirement is immediately sensible as it is the threaded screw part which pulls the screw head at the top of the unthreaded shaft into the reinforcement adherend and hereby exerts the cramping pressure. With regard to screw placement a maximum influence or press area of 15 000 mm² and a maximum spacing of 150 mm are prescribed.

It is evident that these execution specifications are insufficient as the cramping pressure and hence the press area and screw spacing are influenced by the screw diameter and its herewith correlated head diameter. Further the type of screw head which may be countersunk or washer-type affects the pressure and also no edge distances are specified. Apart from the mentioned specification deficiencies it is the limited thickness of the boards and panels which restrict up to today the manufacture of wide-span ribbed-plates necessitating sheathing thicknesses > 50 mm to achieve sufficient structural element performance.

Since its first use, screw press gluing has been investigated with regard to its affecting parameters and resulting bond line qualities by several authors (e.g. [12-14; 20-23]). Revised and significantly more precise specifications on screw press gluing as compared to DIN 1052-10_old were then implemented in 2019 in ÖNORM EN 1995-1-1/NA:2019-06 [24], specifying distances, spacings and an equation for the cramping pressure force related to the head pull-through capacity of the screws.

8.2. Provisions of DIN 1052-10:2023_new

As compared to [4] DIN 1052-10_new provides in normative Annex A a profound revision of the former specifications. Apart from general aspects on screws, execution provisions and calculation of cramping force the screw gluing specifications are now given separately for bonding of

- reinforcements
- stressed skin elements of type K (sheathing thicknesses ≤ 60 mm)
- rib and box elements (sheathing thicknesses ≤ 200 mm)

In the following important changes and additions are reported in excerpts.

8.2.1. General specifications

The self-tapping, partially threaded screws shall conform to one of the following standards or building regulatory assessments

- EN 14592 [25] in conjunction with DIN 20000-6 [26]
- ETAs based on EAD 130118-1-0603 [27] or EAD 130033-00-0603 [28]

whereby throughout the performance characteristics listed in [6], Annex D, shall be declared. The screw may have diameters d of 4 – 10 mm and the head or washer diameter d_h can be up to maximally 35 mm. Countersunk and washer-type screws shall have ratios d_h/d > 1,8 and 2,5, respectively. In case of LVL and PW reinforcements or sheathings made from hardwoods exclusively countersunk screws are permitted. Note: This restriction shall prevent a torsional fracture of the screw provoked by the high surface stiffness / hardness of the hardwood materials.
In order to fully activate the screw press forces specified below it is required to indent the upper head face / edge of countersunk screws into the sheathing surface by 2 to 5 mm in case of softwood materials and by 0 to 2 mm in case of birch or beech sheathings. For washer-head screws, to be used exclusively for softwood sheathings, the indentation of the lower screw head face is decisive. In case of screw diameters d ≤ 8 mm an indentation of 4 to 7 mm is required.

The theoretical cramping pressure shall be calculated except for hole reinforcements where constructive detailing ensures a sufficient pressure level, according to

$$p_{eff} = k_{relax} \frac{F_{pr}}{A_{nom}} k_{p,min} \geq p_{req} \quad (1)$$

where p_{eff} is the theoretical cramping pressure, k_{relax} = 0,8 is a relaxation parameter, F_{pr} is the cramping force exerted by the screw, A_{nom} is the nominal screw pressure influence area and p_{req} is the required cramping pressure specified separately for different applications.
The cramping force F_{pr} depends on the head diameter d_h, on the reinforcement material and head type. The equations given in [6] result from extensive investigations at MPA University of Stuttgart [29] and represent mean values. This is different to the ÖNORM approach [24] where the cramping force is given as a characteristic value obtained from a fit to literature / DOP data for head pull-through parameters. As an example, DIN 1052-10_new specifies in case of ST, FST, one- or multilayer SWPs the cramping force of countersunk and washer-type screw heads alike, as (d_h in mm):

$$F_{pr}\,[N] = (0{,}314 \cdot d_h - 1{,}32) \cdot 10^{-3}. \quad (2)$$

Parameter $k_{p,min}$ given by

$$k_{p,min} = min\begin{cases} 1 \\ \left({}^{100}/_{a_1}\right)^{\sqrt{230/(EI)_1}} \end{cases} \quad (3)$$

is a correction factor derived in [23] accounting for the uneven cramping pressure distribution in-between screws as shown exemplary in Figures 6a and b and applies exclusively to stressed skin and rib or box elements. In Eq. (3) quantity a_1 (mm) is the screw distance parallel to rib axis and $(EI)_1$ in MNmm² is the bending stiffness of the reinforcement sheathing parallel to rib axis for a strip width of 1 mm.

The execution details are application-dependent (reinforcements, stressed skin elements and rib and box elements) and presented briefly below and not exhaustive.

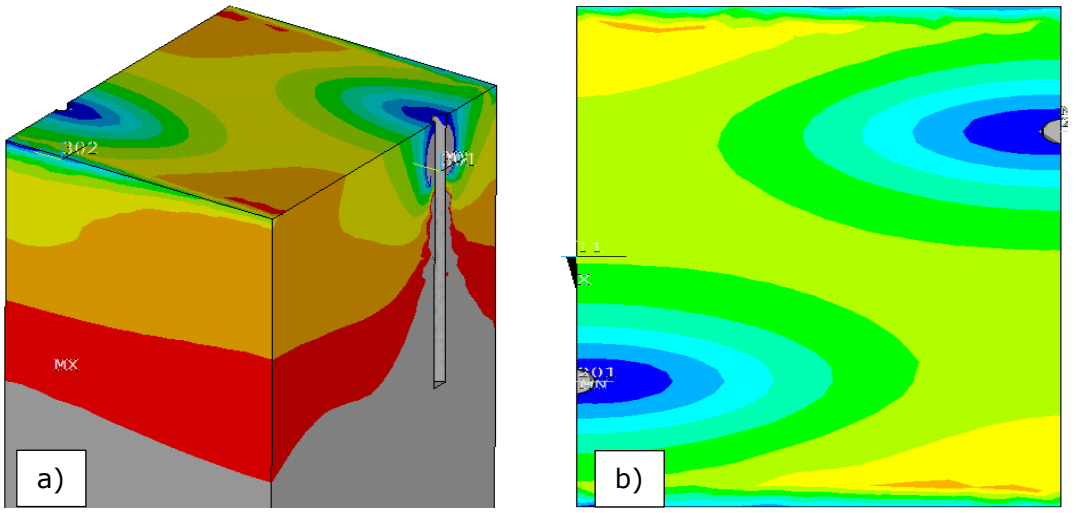


Figure 6: Cramping stress distribution perpendicular to rib-sheathing plane exerted by two screws (with offset of $a_1/2$ along rib axis) at screw press gluing of a rib element (see [23])
a) 3D presentation of compression stress σ_{90} in the rib adjacent to the bonded interface
b) top view of the uneven σ_{90} stress distribution in the rib sheathing interface

8.2.2. Execution provisions for strip-type reinforcements

The edge distances $a_{3,c}$ and $a_{4,c}$ shown above in Figs. 3 and 5 must be in the range of 5d – 7d. The screw diameters and the spacings of the screws which must be minimally arranged in two rows parallel to reinforcement length axis are given in Table 2 depending on reinforcement material and thickness. The required cramping pressure is set to p_{req} = 0.2 N/mm². The stated execution provisions apply to pre-fabricated products as well as repair and upgrading and hence, too, for the special beam repair situation (increase of bending stiffness) specified in chap. 7.3 and Fig. 4.

Table 2: Screw gluing specifications regarding reinforcement materials and thicknesses, minimum screw diameters and maximum screw spacings for strip-type reinforcements

Reinforcement		Screws		
Material	Thickness	Minimum nominal diameter	Maximum spacing	
			in fiber direction of reinforcement	perpendicular to fiber direction of reinforcement
	t	*d*	a_1	a_2
-	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
ST, FST, one-layer SWP, LVL-P SWPs, LVL-C[1)]	18-30	5	12d	120
	31-45	6	15d	150
LVL-C, PLW (species birch or beech)[1)]	18-45	6	15d	150

1) The materials should have a small cross-layer ratio

8.2.3. Execution provisions for hole reinforcements

Figure 7 depicts the screw arrangement comprising edge distances and spacings of a reinforcement of a rectangular hole. Note: The execution provisions for reinforcements of round holes are partly different. The prescribed edge distances $a_{3,c}$ and $a_{4,c}$ conform to those of strip-type reinforcements, i.e. 5d to 7d. The screw distance from the inner hole periphery is limited to 5d. The reinforcement thicknesses, materials and the hereon depending screw diameters and spacings are specified in Table 3.

In the four corner areas at least four screws must be placed. The bond lines of two diagonally opposite corner areas (shaded) are loaded in tension shear and represent the most crucial bond stress locations of the total reinforcement. The screws must be arranged at least with two parallel screw rows / columns around the total hole periphery. The reinforcement strip widths b_r and h_{pr}, being horizontally and vertically adjacent to the hole contour must conform to $b_r \geq max(75\,mm;\, l_d/3)$ and $h_{pr} \geq \max(75\,mm; h_d/3)$.

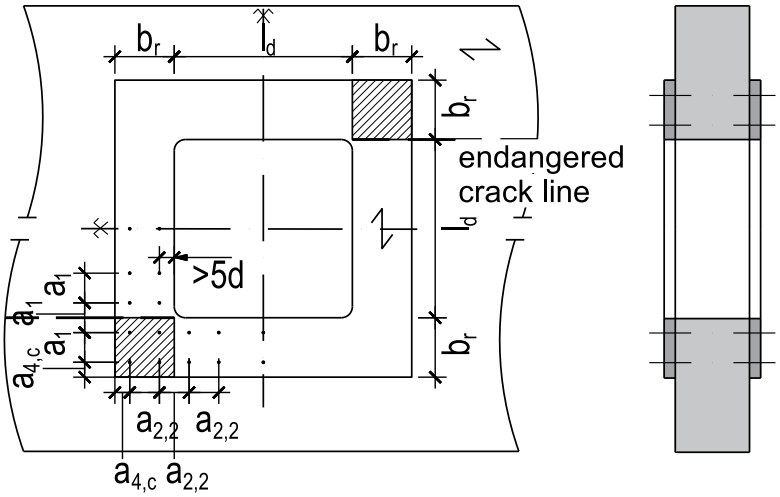


Figure 7: Dimensional notations of spacings and edge distances for screw press gluing of hole reinforcements

Table 3: Screw gluing specifications regarding reinforcement materials and thicknesses, minimum screw diameters and maximum spacings for reinforcement of holes in members

Reinforcement		Screws			
Material	Thickness	Minimum nominal diameter	Maximum spacing		
			in fiber direction of reinforcement	perpendicular to fiber direction of reinforcement	
	t	*d*	a_1	a_2	$a_{2,2}$
-	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Softwoods: PLW, multi-layer SWPs, LVL-C	12-24	≥4	13d	10d	13d
	25-45	≥5			
Beech or birch: PLW, LVL-C	12-24	≥4	17d	15d	17d
	25-45	≥5			

8.2.4. Execution provisions for stressed skin panels, rib and box elements

The threaded length of screws shall be at least 8d. The edge distance $a_{4,c}$ of the screws perpendicular to rib axis and outer fiber direction of the sheathing shall be in the range of 3d to 5d. Definitions of the edge distances and spacings are given in Fig. 8. In an exception

from the general requirements, edge distance $a_{4,c}$ may be increased to maximally 6,5d in case of rib widths ≤ 100 mm and sheathing thicknesses t ≥ 28 mm. This exception is, however, not valid for sheathings made of OSB and RPB.

When the screws are placed in a single row an offset of ± 1d vs. the length axis at rib mid-width is permissible. In case of multi-row screwing the screws of adjacent rows may have an offset of $a_1/2$ whereby a_1 is the screw spacing within a row. Spacings a_1 and a_2 between the screws are specified in Table 4 for stressed skin elements and in Table 5 for rib and box elements. The given spacings depend on the sheathing material and thickness and on the screw diameter. The tables specify further the required cramping pressure p_{req} and the cramping pressure correction factor $k_{p,min}$, given either as a fixed number or with reference to Eq. (3).

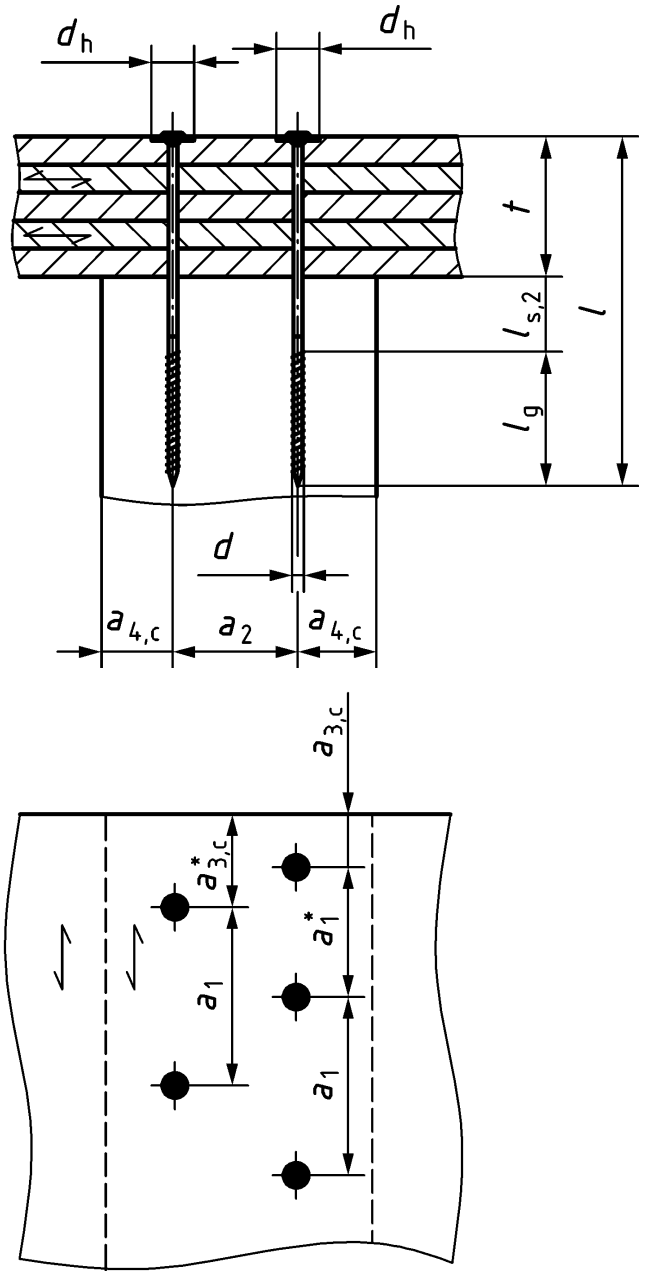


Figure 8: Dimensional notations of screw spacings and edge distances screw press gluing of sheathings to ribs, applicable to type K stressed skin elements and rib or box elements

Table 4: Screw press gluing specifications regarding sheathing materials and thicknesses, minimum screw diameters and maximum screw spacings and cramping pressure details for type K stressed skin panels

Sheathing		Screws			required cramping pressure	cramping pressure correction factor
Material	Thickness	Minimum nominal diameter	Maximum spacing			
			in fiber direction	perpen-dicular to fiber direction		
	t	d	a_1	a_2	p_{req}	$k_{p,min}$
-	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N/mm²]	-
RPT, OSB	19-27	5	100	12d	0,2	
	28-42	6	120			
softwoods: LVL-C, PLW, SWP (multi-layer)	19-27	6	120			
	28-42		150			
	43-60	8	175	14d		0,8
Birch or beech: LVL-C, PLW, SWP (multilayer)	19-27	6	150	14d		1,0
	28-42	8	175	15d		
	43-60		200	16d		0,8

Table 5: Screw press gluing specifications regarding sheathing materials and thicknesses, minimum screw diameters, maximum spacings and cramping pressure details for rib and box elements

Sheathing		Screws			required cramping pressure	cramping pressure correction factor
Material	Thickness	Minimum nominal diameter	Maximum spacing			
			in fiber direction	perpen-dicular to fiber direction		
	t	d	a_1	a_2	p_{req}	$k_{p,min}$
-	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N/mm²]	-
plane elements: GL, LVL-C, GLVL-C	28-60	6	150	12d	0,2	1
	61-100		175	13d		Eq. (3)
	101-160	8	200	14d	0,25	
	161-200	10	225	15d		
curved elements: GL, LVL-C, GLVL-C	28-60	8	125	12d	0,2	1
	61-100		150	13d		Eq. (3)
	101-160		175	14d	0,25	
	161-200	10	200	15d		

9. Conclusions

The extended options and specifications of DIN 1052-10_new on bonded rib and box type elements in combination with an extremely widened application range for screw press gluing enables timber industry to compete in much improved manner with RC and steel construction. Transparent specifications on initial type testing, factory production control and certification, partly in conjunction with DIN 1052-11 for type K elements ensure a high resilience level, especially necessary for large-span and high-rise buildings. The more precise specifications and options on reinforcement of new prefabricated or damaged and upgraded timber constructions represent a further important step for prolonged safe life-cycles of timber structures.

10. Acknowledgements

Financial support to the reported research work on screw press gluing of rib and box elements leading to extended specifications in DIN 1052-10 has been gratefully provided by founding of

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) under Germany's Excellence Strategy EXC 2120/1 – 390831618 and
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung to project SWD – 10.08.18.7-0.42 Robotische Schraubenpressklebung: Entwicklung hochleistungs- und anpassungsfähiger digital geplanter Klebeverbindungen im Holzbau and
- Forum Holzbau, Biel, Swiss, under grant 903 635 2000

11. References

[1] EN 1995-1-1:2010: Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

[2] DIN EN 1995-1-1/NA:2013: National Annex – Nationally determined parameters – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Germany

[3] EN 14080:2013: Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber – requirements. CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

[4] DIN 1052-10:2012: Design of timber structures. Part 10: additional provisions. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Germany

[5] DIN 1052-11:2022: Timber structures – Production and execution of timber structures. Part 11: Prefabricated wall, floor and roof elements – Fabrication requirements. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Germany

[6] DIN 1052-10:2023: Timber structures – Design of timber structures – Part 10: Additional provisions for fasteners and non-European regulated bonded products and types of construction. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Germany

[7] FprEN 14732 (2012): Timber structures – Structural prefabricated wall, floor and roof elements – Requirements. CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

[8] DIBt (1992): Richtlinie für die Überwachung von Wand-, Decken- und Dachtafeln für Hochhäuser in Tafelbauart nach DIN 1052 Teil 1 bis Teil 3. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, Germany

[9] prEN 1995-1-1:2023-10: draft Eurocode 5 - Design of timber structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

[10] EN 14358 (2016): Timber structures – Calculation and verification of characteristic values. CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

[11] EN 14374 (2005): Timber structures – Structural laminated veneer lumber – Requirements. CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

[12] Aicher, S., Hamming, J. (2019): Schraubenpressklebung von geklebten Verbundbauteilen aus BSH und BSP – Einflüsse von Schraubenabständen, -größen auf die Verklebungsgüte der Blockfuge. Research Report 9036352000-01. Department of Timber Constructions, MPA University of Stuttgart, Germany

[13] Aicher, S., Simon, K. (2021): Schraubenpressgeklebte Rippenelemente aus Brettschichtholz und Brettsperrholz – Teil 1 – Einfluss von Schraubenabmessungen und -abständen, von Beplankungsdicken und Klebstofftypen. Research Report 9036352000-1. Department of Timber Constructions, MPA University of Stuttgart, Germany

[14] Aicher, S., Simon, K. (2021): Schraubenpressgeklebte Rippenelemente aus Brettschichtholz und Brettsperrholz – Teil 2 – Einfluss von Schraubenabmessungen und -abständen. Research Report 9036352000-2. Department of Timber Constructions, MPA University of Stuttgart, Germany

[15] EN 338 (2016): Structural timber – strength classes. CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

[16] EN 301 (2023): Adhesives, phenolic and aminoplastic, for load-bearing timber structures – Classification and performance requirements. CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

[17] EN 17334 (2021): Glued-in rods in glued structural timber products – Testing, requirements and bond shear strength classification. CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

[18] EN 636 (2015): Plywood – Specifications. CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

[19] DIN 1052-10 (1969): Timber structures – design and construction. DIN Deutsches Institut für Normung, Berlin.

[20] Bratulic, K., Augustin, M. (2016): Screw gluing – Theoretical and experimental study on screw pressure distribution and glue line strength. World Conference on Timber Engineering (WCTE) 2016, Vienna, Austria

[21] Franke, S., Schiere, M., Franke, B. (2018): Press glued connections – Research results for discussion and standardization. Proceedings of International Network on Timber Engineering Research (INTER), Meeting 51, paper 51-18-1, Tallinn, Estonia

[22] Bratulic, K., Augustin, M., Schickhofer, G. (2019): Investigations concerning screw-press gluing of assemblies with CLT. Proceedings of International Network on Timber Engineering Research (INTER), Meeting 52, paper 52-18-1, Tacoma, USA

[23] Aicher, S., Simon, K., Zisi, N. (2021): Screw-gluing of ribbed timber elements – effects of screw spacing and plate stiffness on bond line cramping pressure. Otto-Graf-Journal, Vol. 20: 9-38. MPA University of Stuttgart, Germany

[24] ÖNORM EN 1995-1-1:2019-01: Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. Austrian Standards, Vienna, Austria

[25] EN 14592 (2022): Timber structures – Dowel-type fasteners – Requirements. CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

[26] DIN 20000-6 (2015): Application of construction products in structures – Part 6: Dowel-type fasteners and connectors according to DIN EN 14592 and DIN EN 14545. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Germany

[27] EAD 130118-01-0603 (2019): Screws and threaded rods for use in timber constructions. EOTA European Organisation for Technical Assessment, Brussels, Belgium

[28] EAD 130033-00-0603 (2015): Nails and screws for use in nailing plates in timber structures. EOTA European Organisation for Technical Assessment, Brussels, Belgium

[29] Aicher, S., Münzer, A., Simon, K. (2023): Screw press gluing of timber structures – Determination of the cramping force exerted by partially threaded timber screws. Submitted for publication.

Punktgestützte Flachdecken aus stumpf verklebten TS3-Brettsperrholzplatten – Erfahrungen der letzten 10 Jahre

Dr. Marcel Muster
Timbatec Holzbauingenieure Schweiz AG
Zürich, Schweiz



Sven Bill
Timber Structures 3.0 AG
Thun, Schweiz



Punktgestützte Flachdecken aus stumpf verklebten TS3-Brettsperrholzplatten – Erfahrungen der letzten 10 Jahre

1. Einführung

«Ein punktgestütztes, zweiachsig tragendes Flachdeckensystem in Holz» war das Ziel, das sich die Holzbauingenieure von Timbatec aus der Schweiz um Stefan Zöllig gesetzt hatten. Sie hatten mehrere Projektwettbewerbe gegen den klassischen Stahlbeton verloren, der mit einem einfachen Stützenraster in Verbindung mit einer Flachdecke in der Lage war, die Statik des Bauwerks auf sehr effiziente Weise zu lösen. Der klassische Holzbau ist zu diesem Zeitpunkt hier an seine Grenzen gestoßen. Im Holzbau waren bisher linienförmige Stützen wie Unterzüge oder tragende Wände notwendig, da Deckenplatten oder Hohlkastenelemente mehrheitlich einachsig tragend eingesetzt werden konnten.

Ab 2010 entwickelte federführend Timbatec gemeinsam mit der ETH Zürich, der Berner Fachhochschule und weiteren Wirtschaftspartnern deshalb ein zweiachsig, bzw. flächig tragendes, punktgestütztes Deckensystem aus Holz. Der Entwicklungsaufwand war grösser, als ein Holzbauingenieurbüro allein stemmen konnte. Das Geschäftsmodell war ein anderes, die Lieferanten und Kunden anders gelagert, die Risiken und der Finanzbedarf grösser. 2014 wurde beschlossen, für die neuen Technologien eine eigene Firma zu gründen, die Timber Structures 3.0 AG, kurz TS3. Gemäss der Philosophie: TS1 steht für Vollholz (rund oder gesägt); TS2 für verklebte Holzbauteile (Brettschichtholz und Brettsperrholz) und TS3 für die dritte Generation im Holzbau, die völlig neue Formen und Dimensionen ermöglicht. Zentrale Technologie ist die stumpfe stirnseitige Verklebung von Holz, hauptsächlich Brettsperrholzplatten. In den Jahren 2013-2023 wurden rund 40 Bauprojekte mit insgesamt 25'000 m^2 Flachdecken mit den TS3-Technologien in der Schweiz, Österreich und Kanada realisiert. Weitere 35 Projekte mit insgesamt 50'000 m^2 Flachdecken sind bis Ende 2024 beauftragt.

2. Entwicklung der TS3-Verbindung

Die Fragen der Holzbauingenieure waren:

«Wie schaffen wir es, die Vorteile von Stahlbetonkonstruktionen auch im Holzbau zu nutzen?»

«Können wir in Beton denken, aber mit Holz bauen?».

Die Antwort war eine Systemlösung, die es erlaubt, Geschossdecken aus Holz zweiachsig bzw. flächig tragend zu konstruieren und lediglich punktuell abzustützen. Die Voraussetzung dafür war ein zweiachsig tragender Holzwerkstoff. Zunächst standen aufgelöste Trägerrost-Kastensysteme im Fokus. Doch bisher konnte keine industrielle Produktion etabliert werden, die für eine wirtschaftliche Herstellung unabdingbar wäre. Ausserdem war mit Brettsperrholz bereits ein zwar materialintensives, aber wirtschaftliches Produkt am Markt etabliert. Dieses zeigte bei Durchstanzversuchen für punktuelle Krafteinleitung hervorragende Werte. Zur Erzielung der zweiachsigen Durchlauftragwirkung müssen die durch die Herstellung limitierten Plattengrössen auf der Baustelle biegesteif miteinander verbunden werden. Hierfür war bis dato keine praktikable Methode vorhanden.

Aus einem Variantenstudium zur seitlichen Verbindung von Brettsperrholz-Platten folgte die Erkenntnis, dass eine reine Klebeverbindung ausreichend ist, um Stahlbetonkonstruktionen ernsthaft konkurrenzieren zu können. Mit der Untersuchung verschiedener Stoss-Geometrien zeigte eine reine stumpfe Stirnholzverklebung mit Fichtelamellen (SS-F-V) mit 14,7 N/mm^2 (auf Mittelwertniveau) ein ausreichendes Festigkeitspotenzial, um punktgestützte Holz-Geschossdecken mit einem Stützenraster von 8 m x 8 m bei 500 kg/m^2 Nutzlast zu bauen, siehe Abbildung 1 [1].

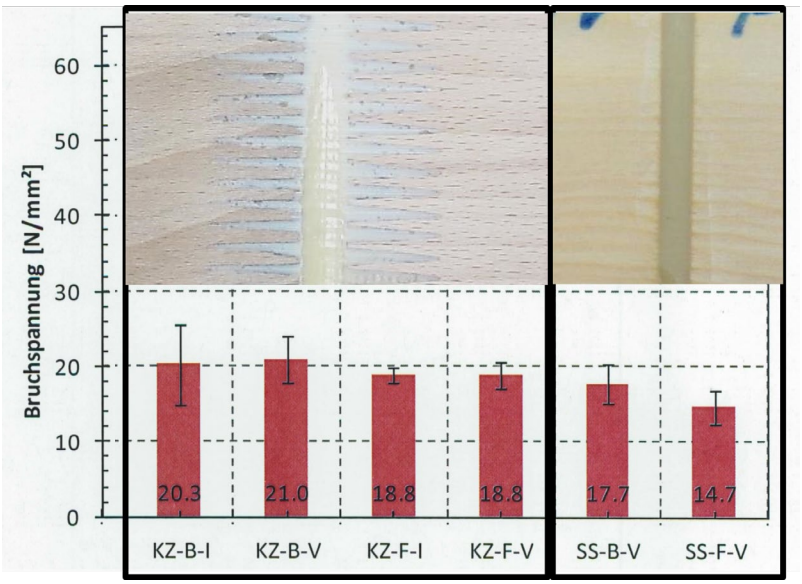


Abbildung 1: Vergleich Verbundfestigkeit von profilierten und stumpf gestossenen Fügeflächen, in der Nomenklatur steht KZ steht für Keilzinkenstoss, SS für Stumpfstoss; B für Buchenholz, F für Fichtenholz, [1]

Zur laufenden Vertiefung und Leistungssteigerung wurden mehrere Forschungsprojekte mit Unterstützung des Schweizerischen Wald- und Holzforschungsfonds sowie der Innosuisse und des Technologiefonds durchgeführt. 8 Bachelor-, 15 Masterarbeiten sowie vier Dissertationen brachten Erkenntnisse über verschiedene Klebstoffsysteme [2], Holzeigenschaften [3], Bearbeitungsparameter der Fügeflächen, Produktionsbedingungen etc. In Dutzenden Prüfserien, überwiegend bei Zug- und Biegeversuchen wurden tausende von Bruchspannungswerten generiert. Langzeitversuche und Baustellenbedingungen (Kälte [4], Feuchte, Sonneneinstrahlung, Bewegungen etc.) lieferten zusätzliche Erkenntnisse, um das Holzbausystem TS3 heute sicher anwenden zu können.

Die erste Entwicklungsstufe des TS3-Systems wurde mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) und der allgemeinen Bauartgenehmigung (aBG) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), welche nach 6 Jahren Erarbeitungszeit Ende 2023 ausgestellt wird, abgeschlossen. Aufgrund der langen Bearbeitungszeit des Zulassung Gesuchs bildet die aktuelle Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung und Allgemeine Bauartgenehmigung bereits nicht mehr den aktuellen Stand der Technik ab. Nach vielen neuen Erkenntnissen aus der praktischen Anwendung sowie aus den vielen Zulassungs- und Forschungsaktivitäten wird bereits die nächste Zulassungsstufe angestrebt. Hierfür wird auf Basis des aktuellen Wissensstands ein EAD erarbeitet. Mit der hieraus entstehenden ETA wird das TS3-System in geografischer wie auch in technischer Hinsicht noch breiter angewendet werden können.

3. Die TS3-Verbindung

Die TS3-Technologie ist ein Bausystem mit einer biegesteifen Verbindung in der Ebene zwischen Brettsperrholzplatten. Die TS3-Verbindung mittels Fugenverguss ermöglicht den Bau von unterzugsfreien Skelettbaustrukturen aus Holz mit schlanken, punktgestützten Platten. Die TS3-Fuge, das Kernstück der Technologie, ist standardmässig 4 mm breit und verfügt auf einer Seite an der Unterkante jeweils über einen Absatz von 20 mm, der die Fugendicke definiert und in Kombination mit einem Dichtungsband die Abdichtung, wie auch einen sauberen Abschluss in Sichtqualität gewährleistet, siehe Abbildung 2.

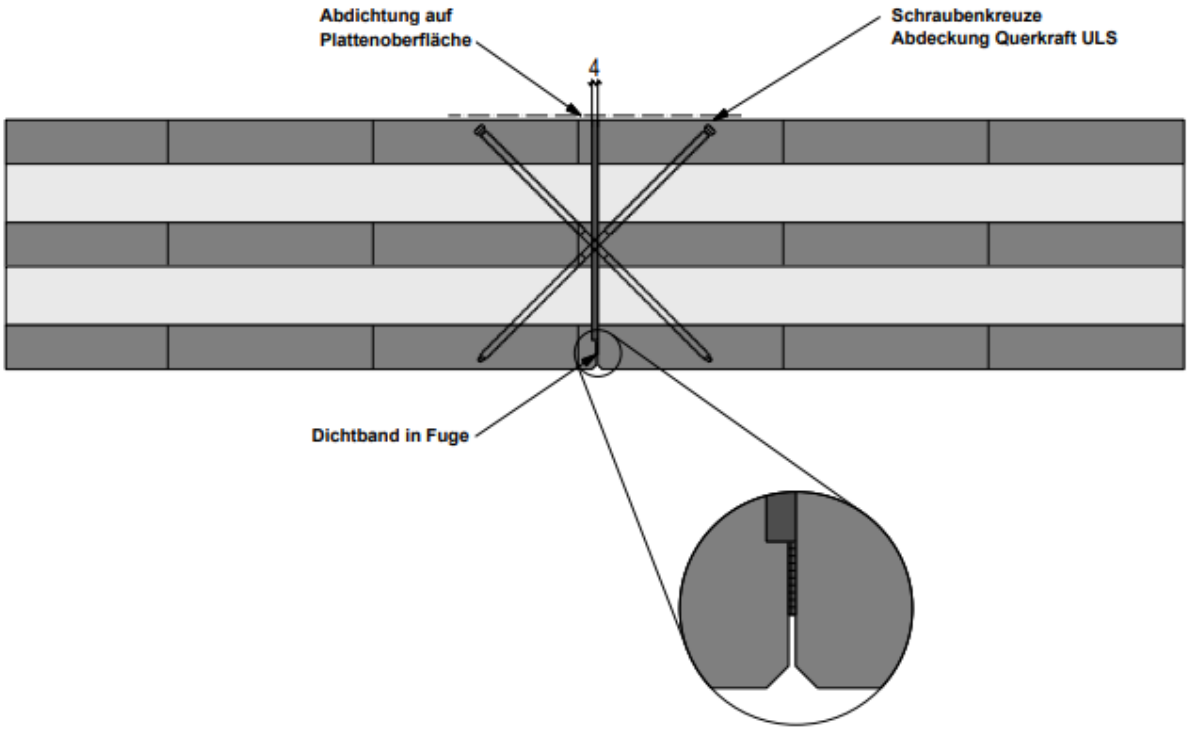


Abbildung 2: Schematische Darstellung der TS3-Fuge.

Zur Qualitätssicherung wird die Fuge vor dem Verguss in 60 – 100 cm lange Segmente unterteilt. Auf der Baustelle wird jedes Segment einzeln mit einem speziellen 2-Komponenten-Giessharz verfüllt. Die entsprechenden Einfülllöcher werden vorgängig auf einer Abbundanlage gebohrt und führen in die zweitunterste Plattenlage, vgl. Abbildung 3. Durch das Verfüllen der Fugen von unten nach oben wird sichergestellt, dass keine Lufteinschlüsse entstehen und die Fugen vollständig mit Gießharz gefüllt sind.

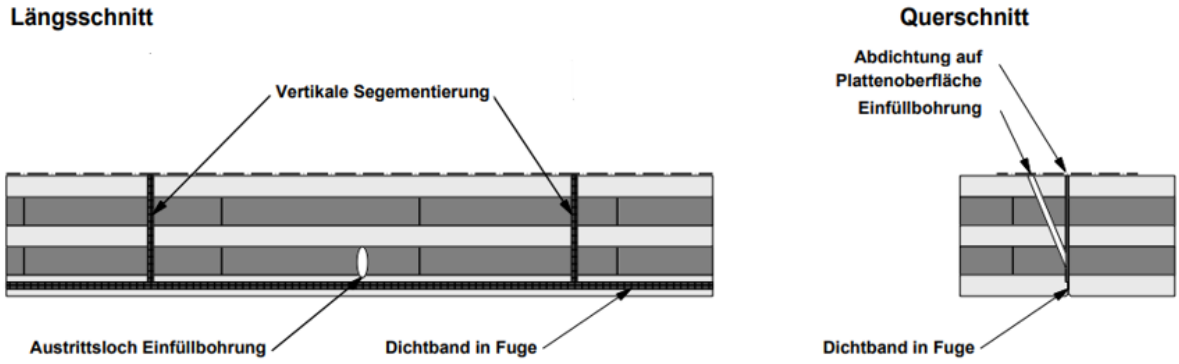


Abbildung 3: Segmentierung der TS3-Fugen.

TS3 befähigt seine Partnerbetriebe durch Schulungen und technische Dokumentationen zur eigenständigen Planung und Ausführung von TS3-Projekten, einschließlich der TS3-Fugen. TS3 bietet seinen Partnerbetrieben jederzeit beratende Unterstützung an.

Zur Sicherstellung der Fugenqualität werden einheitliche Qualitätskriterien und -massnahmen definiert:

- *Vorgaben, Kontrolle und Dokumentation*
  Die Einhaltung der vorgegebenen Materialeigenschaften und Ausführungsbedingungen wird durch systematische Kontrollen sichergestellt und dokumentiert.
- *Intelligentes Ausführungsprinzip*
  Die Segmentierung der Fuge stellt sicher, dass die Tropfzeit des Giessharzes eingehalten wird und Auffälligkeiten beim Verguss schnell erkannt werden. Jedes Segment wird von unten her aufgefüllt, bis aus den Entlüftungslöchern Giessharz ohne Blasen austritt. Durch die Verdrängung der Luft nach oben können Lufteinschlüsse in der Fuge ausgeschlossen werden.

– *Qualitätsprüfungen*
  Von den fertigen TS3-Fugen werden gemäss Vorgaben in der abZ/aBG systematisch Prüfkörper entnommen und einer Festigkeitsprüfung im Labor zugeführt.

4. Bemessung der Platten und der TS3-Verbindung

Die Bemessung einer Brettsperrholzdecke, welche sich aus mehreren mit den TS3-Technologien verbundenen Brettsperrholz-Elementen zusammensetzt, ist ähnlich wie die Bemessung einer Stahlbeton-Flachdecke. Die TS3-Verbindung kann als starr angenommen werden. Die in der Ausführung eingesetzten einzelnen Brettsperrholzplatten können als eine ganze Platte mit durchgehend gleicher Steifigkeit modelliert werden, vgl. Abbildung 4.

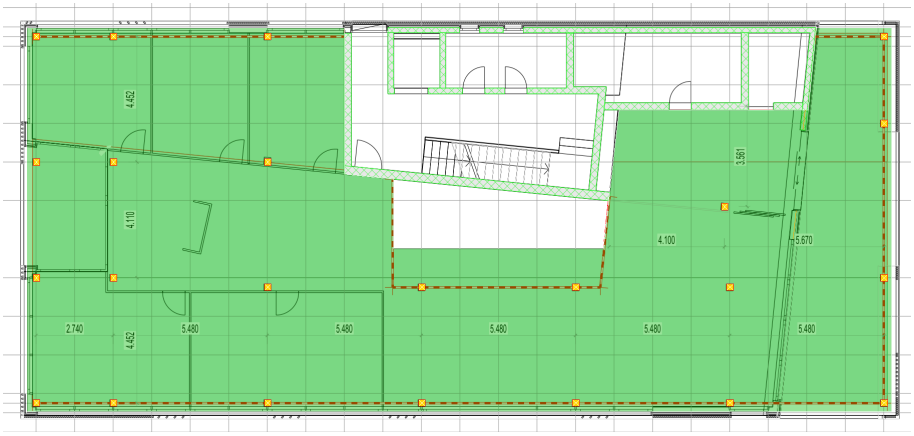


Abbildung 4: Grundriss mit Brettsperrholzdecke (grün), Stützen (gelb) und Erschliessungskern in Stahlbeton

Aufstandsflächen über Stützen und Wänden können für realitätsnahe Ergebnisse mittels Flächenbettung modelliert werden, wodurch sich schlankere Decken ergeben, da die effektiven Spannweiten gegenüber Punkt- und Linien-Lagerungen kürzer sind. Auch ist diese Art der Modellierung bezüglich Singularitäten günstiger. Nicht nur Grundrisse mit fixem Stützenraster, sondern auch Grundrisse mit einer Mischung aus tragenden Wänden und einzelnen Stützen, wie man sie im klassischen Wohnungsbau meist vorfindet, können neu effizient umgesetzt werden. Im Gegensatz zum konventionellen Holzbau eignet sich Brettsperrholz mit TS3-Technologien außerordentlich für unregelmäßige Grundrisse. Einziges Kriterium ist, dass die einzelnen Spannweiten annähernd gleichmäßig verteilt sind, denn aus der größten Spannweite definiert sich in der Regel die erforderliche Plattendicke.

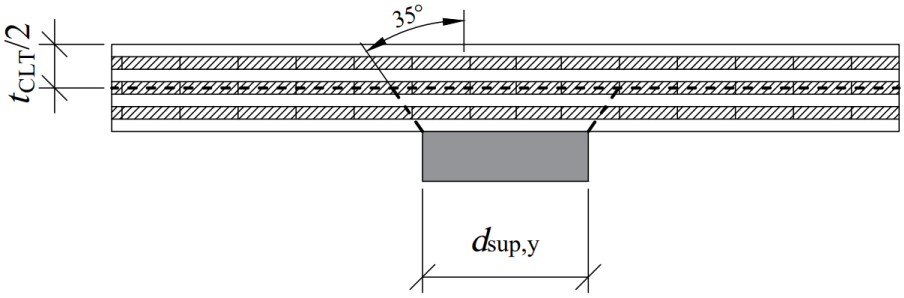


Abbildung 5: Lastausbreitung über dem Auflager aus [5]

Ist eine Decken- oder Dachfläche mit entsprechender Lagerung und Belastung in der FE-Software abgebildet, können Spannungs-, Verformungs- und Schwingungsanalysen für die weitere Planung erfolgen, vgl. Abbildung 5 und Abbildung 6. Der Lagenaufbau der gewählten Brettsperrholzplatte wird hierbei auf das Spannweitenverhältnis des Grundrissrasters abgestimmt, damit die Deckenstärke und der Materialeinsatz optimiert werden können. Mit der Spannungsanalyse erfolgt eine erste Platteneinteilung für die erforderlichen Brettsperrholzelemente. Hierbei wird eine Optimierung des Verschnitts, die Herstellungs- und Transportkapazitäten wie auch das Montage- und Sprieß-Konzept bereits berücksichtigt, vgl. Abbildung 7. Der Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Deckensystems erfolgt auf der Grundlage der Einteilung der Brettsperrholzplatten für den Einbau. Durch die Abbildung in der FEM-Software kann der Schwingungsnachweis

einfach geführt werden. Der Nachweis im Brandfall geschieht analog der bekannten Bemessung für Brettsperrholz anhand des Resttragquerschnittes. Hierzu wurden die Grundlagen in Grossbrandversuchen im Rahmen eines Forschungsvorhabens gewonnen, Abbildung 8 und kürzlich bestätigt.

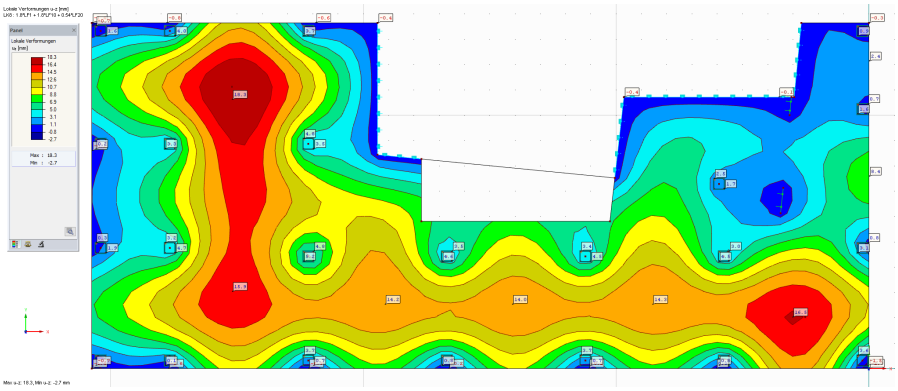


Abbildung 5: Verformungsanalyse mittels FEM-Software

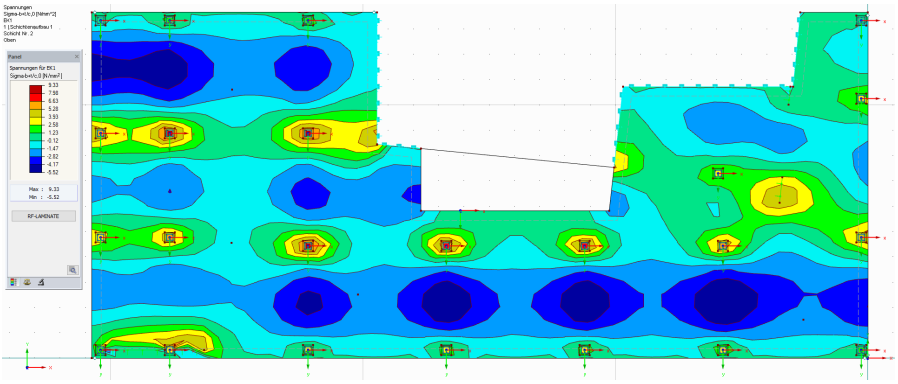


Abbildung 6: Spannungsanalyse mittels FEM-Software

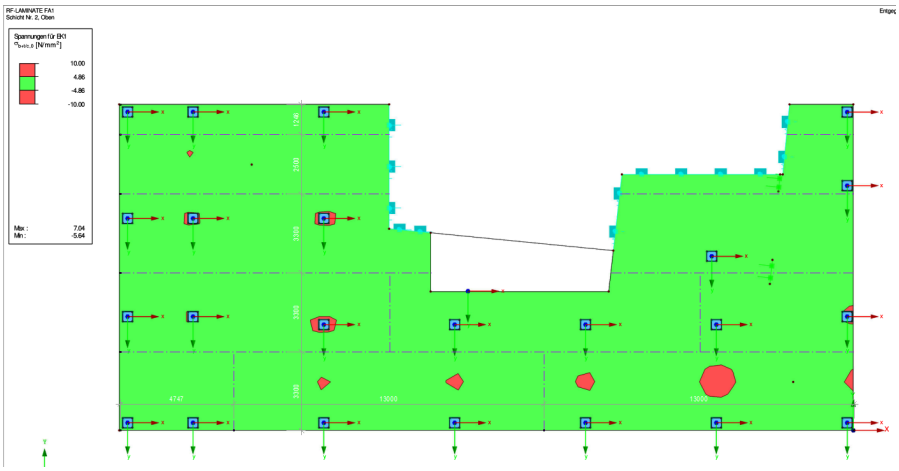


Abbildung 7: Einteilung der Brettsperrholzplatten unter Berücksichtigung des Spannungsbildes



Abbildung 8: Grossbrandversuch unter Last

5. Ausführung der TS3-Verbindung

Die TS3-Fuge wird in zwei Arbeitsschritten ausgeführt:

1. Vorbehandeln der Fügeflächen im Werk
2. Vergiessen der TS3-Fugen auf der Baustelle.

Nach dem Abbund der Brettsperrholz-Deckenelemente werden die Fügeflächen im Abbundwerk vorbehandelt. Die Fügeflächen werden mit dem 2K PUR «TS3 PTS PT192» und geeigneten Spachtelwerkzeugen versiegelt. Diese Vorbehandlung erfüllt gleichzeitig mehrere Zwecke. Sie ermöglicht zunächst die Haftung des Giessharzes auf der Holzstirnseite unter optimalen Werksbedingungen. Im Weiteren wird die frische Schnittkante in ihrem für die Verklebung optimalen Zustand konserviert. Zusätzlich werden die Fügeflächen während des Transports zur Baustelle vor äusseren Einflüssen wie z.B. Feuchteveränderungen geschützt.



Abbildung 9: Fügefläche mit Dicht- und Segmentierungsbänder

Nach der Vorbehandlung und dem Anbringen von Dicht- und Segmentierungsbänder werden die Elemente für den Transport wasserdicht verpackt. Auf der Baustelle werden die Platten ausgepackt, visuell kontrolliert und mit dem Kran gemäss Verlegeplan an die korrekte Position eingehoben. Die Auflagerung erfolgt auf Wänden, Stützen oder falls erforderlich auf Lehrgerüsten und werden ggf. mit Sprießen unterstützt. Die Oberseite der TS3-Fugen wird mit transparentem Klebeband abgedichtet, vgl. Abbildung 10. Das 2K-PUR-Giessharz TS3-PTS CR192 wird durch die vorgesehenen Einfüllbohrungen injiziert, siehe Abbildung 11. Das Giessharz erreicht nach zwei Tagen 80 % und nach 10 Tagen 100 % seiner Endfestigkeit. Temperaturen deutlich unter- oder oberhalb von 20 °C verlangsamen, resp. beschleunigen die Aushärtung. Für kühle Temperaturen wurden durch TS3 entsprechende Massnahmen entwickelt, um die erforderlichen Festigkeiten zu erreichen.



Abbildung 10: Abgeklebte TS3-Fuge

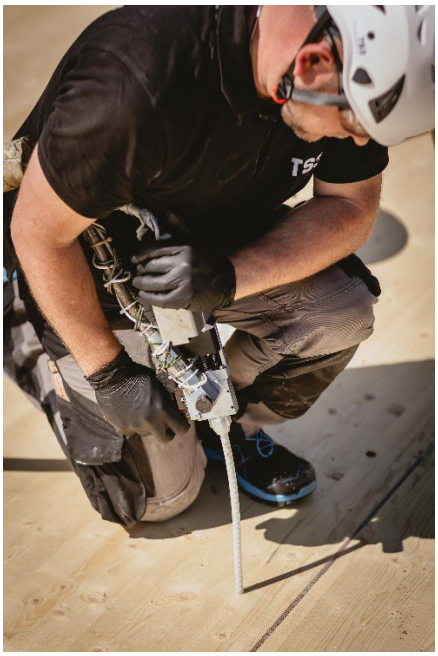


Abbildung 11: Vergiessen der TS3-Fugen durch die werksseitig erstellten Einfüllbohrungen.

6. Anwendungsbeispiele

6.1. Grundrissgestaltung

TS3 ist speziell geeignet für Geschossdecken und Dächer in Mehrfamilienhäusern, auch für solche mit sehr unregelmässigen Grundrissen. Auskragende Ecken ohne Eckstützen oder Stützen, die nicht auf einer Linie stehen, können mit den grossformatigen TS3-Decken einfach überspannt werden, vgl. Abbildung 12. Auch Übergänge von Innen nach Aussen, z.B. bei Balkonen oder Loggien sind mit TS3 statisch, aber auch bauphysikalisch einfach zu lösen. Während bei Stahlbetondecken thermische Kragplattenanschlüsse erforderlich wären, führen die TS3-Brettsperrholzplatten ohne weitere Massnahmen von Innen nach Aussen.

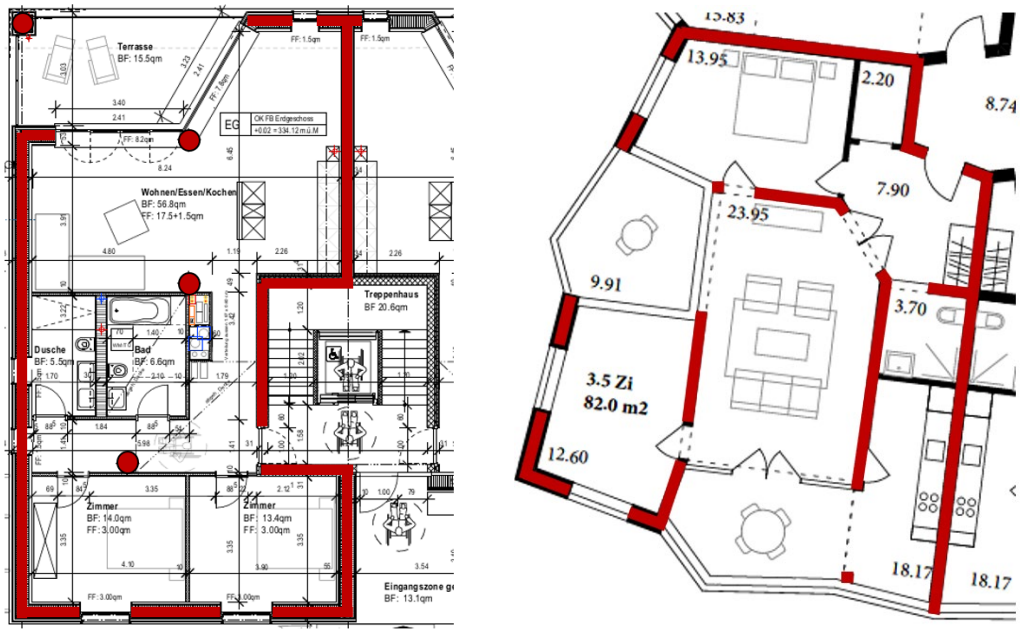


Abbildung 12: Unregelmässige Grundrisse mit Decken-Auflagern auf tragenden Wänden und einzelnen Stützen.

Auch für nutzungsflexible Gebäude mit quadratischen Stützenrastern ohne tragende Innenwände sind die TS3-Technologien geeignet. So wurde unter anderem das Gewerbegebäude der Firma Handl in Pians im Tirol A mit einem Stützenraster von 7 x 7 Metern konstruiert, siehe Abbildung 13. Die 240 mm dicke Brettsperrholz-Dachplatte des 2020 neu gebauten Gastroteils wurde einzig auf Stützen im genannten Raster montiert. Sie dient bei einer späteren Aufstockung als Geschossdecke.

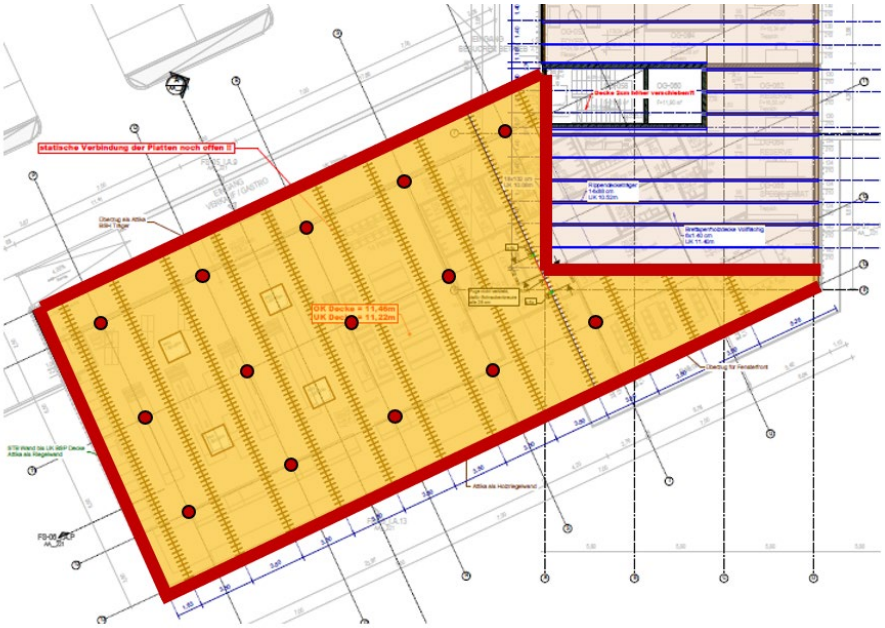


Abbildung 13: Grundriss TS3-Decke mit Stützenraster 7 x 7 m

6.2. Mehrfamilienhaus Fasanenhof Frenkendorf BL, Schweiz

Anzahl Geschosse:	4
Anzahl Wohnungen:	15
Baujahr:	2021
Brutto Geschossfläche:	1221 m^2
Brettschichtholz:	293 m^3
TS3-Technologie:	567 m Fugen
Bauherrschaft:	privat
Architektur:	Scherer Architekten, Frenkendorf
Holzbauingenieur:	Timbatec Holzbauingenieure, Bern
Bauphysik:	Timbatec Holzbauingenieure, Bern
Holzbau:	Stamm Bau, Arlesheim



Abbildung 14: Ansicht Fasanenhof

In Frenkendorf entstand das erste viergeschossige Gebäude mit der TS3-Technologie als Skelettbau mit Stützen und Platten aus Holz, s. Abbildung 14. Dank TS3 konnte das zunächst in Stahlbeton geplante Gebäude kurz vor der Auftragsvergabe in kurzer Zeit auf Holz umgeplant und realisiert werden. Einzig der Treppenhauskern wurde betoniert. Hier wurde jedoch die bis anhin übliche Reihenfolge gedreht: Der Holzbau wurde zuerst aufgerichtet und diente später als verlorene Schalung für den flüssigen Beton. Die Aussenwände und die Wohnungstrennwände wurden tragend ausgebildet. Alle Innenwände wurden nichttragend ausgebildet. Sie können jederzeit ausgebaut oder versetzt werden. Die geplanten Grundrisse, Stützenabstände und Bauteildimensionen konnten von der ursprünglich geplanten Stahlbeton-Bauweise übernommen werden. Die Geschossdecken bestehen aus grossformatig zugeschnittenen Brettsperrholzplatten, die mit der TS3-Technologie stirnseitig miteinander verbunden sind.

Den Gebäudenutzern ermöglicht der Einsatz von Holz und der TS3-Technologie nebst einem angenehmen Raumklima eine maximale Nutzungsflexibilität. Für den Bauherr verkürzte sich die Bauzeit durch den Wegfall von Austrocknungs- und Aushärtungszeiten. Das ganze Gebäude konnte durch vorgefertigte Bauteile und der exakten Planung innert drei Wochen aufgerichtet werden.



Abbildung 15: Ansicht Wohnzimmer mit Übergang zum Balkon Fasanenhof

6.4. Überdachung Strandbad Hopfräben Brunnen SZ, Schweiz

Anzahl Geschosse:	1
Anzahl Dachflächen:	3
Dachfläche:	899 m^2
Brettsperrholz:	163 m^3
TS3-Technologie:	265 m Fugen
Architektur:	Steiner Architektur, Brunnen
Holzbauingenieur:	Besmer Holzingenieure, Sattel
Bauherrschaft:	Gemeinde Ingenbohl, Brunnen
Holzbau:	Dettling Holzbau, Brunnen



Abbildung 16: Schwebendes Dach über dem Eingangsbereich des Strandbads

Der Eingangsbereich der Badeanlage Brunnen SZ wurde neu gestaltet. Vier pavillonartige Gebäude für Restaurant, Umkleide, Toiletten und Betriebsräume wurden mit TS3-Brettsperrholzplatten überdacht. Am augenfälligsten zeigt sich diese Konstruktion beim organisch geschwungenen, schwebenden Hauptdach auf «tanzenden» Stützen über dem Eingangsbereich und den Aussensitzplätzen des Restaurants. Dieses Dach mit 250 m^2 Fläche wurde aus 7 einzelnen CLT-Platten zusammengesetzt. Durch die stirnseitige TS3-Fugenverbindung der CLT-Platten erscheint das schwebende Dach als eine einzige Einheit ohne sichtbare Fugen. Die 210 mm dicken 7-Schicht-CLT-Platten liegen auf schlanken Stahlstützen mit einem Raster von rund 4 x 5 bzw. 5 x 6 Metern auf.

7. Literatur

[1] Zöllig, S., Frangi, A., Franke, S., Muster, M. (2016) Timber structures 3.0 – New technology for mulit-Axial, Slim, high performance timber structures, World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016), Wien, August 2016

[2] Themessl A.M., Lehmann M., Salzgeber D, Franke S. (2018) Butt joint gluing of cross laminated timber, World Conference on Timber Engineering (WCTE 2018), Seoul, August 2018.

[3] Bissig D., Frangi A. (2022) Variantenstudium zur Entwicklung einer zweiachsig tragenden Hohlkastendecke aus Holz, Doktorandenkolloquium Stuttgart

[4] Lins D., Franke S. (2023) Influence of low curing temperatures on the strength development of end-grain bonded timber, World Conference on Timber Engineering (WCTE 2023), Oslo, June 2023.

[5] Muster, M. (2020) Column-Slab Connection In Timber Flat Slabs, Doktorarbeit, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich.

Gastreferat

Was bedeutet ChatGPT?

Chancen und Herausforderungen für uns Alle

Professor Dr. Alexander Pretschner
Software&Systems Engineering an der TU München
Forschungsinstitut des Freistaats Bayern für software-intensive Systeme
Bayerisches Forschungsinstitut für Digitale Transformation
München, Deutschland



Was bedeutet ChatGPT?
Chancen und Herausforderungen für uns Alle

1. Was kann künstliche Intelligenz wie gut?

ChatGPT[i] und vergleichbare Anwendungen sind Vertreter einer speziellen Form Künstlicher Intelligenz (KI). Die öffentliche Debatte zur KI ist auch jenseits von Anwendungen wir ChatGPT von großer Aufregung geprägt. Auf der einen Seite stehen etwa in Deutschland vielleicht landestypisch die Risiken im Vordergrund, die Sorgen, die Gefahren des Unwägbaren, die German Angst. Andererseits wird jenseits von eher feuilletonistischen Überlegungen dazu, ob Künstliche Intelligenz nun kreativ sei oder nicht, mindestens unterschwellig suggeriert, dass Künstliche Intelligenz eigentlich alle (zumindest technischen) Probleme lösen könne. Besonders auffälligen Niederschlag findet dies in Aussagen etwa von CEOs wie Elon Musk oder Alex Karp,[ii] die KI nicht nur auf dem Schlachtfeld mit der Atombombe vergleichen. Diesem Vergleich wohnt eine bemerkenswerte Diskursverschiebung inne. Anstatt auch angesichts vergangener KI-Winter nüchtern die angemessene Frage zu stellen, was KI in welchem Kontext in welchem Ausmaß zu leisten vermag, ist die unterschwellige Annahme in diesem Framing, dass KI mittlerweile tatsächlich alles kann und nun, als anstehende wichtigere Aufgabe, eingehegt werden muss. Es ist verständlich, dass derartige Dramatisierungen den öffentlichen Diskurs pfeffern und die Beobachtung nicht fernliegend, dass die Urheber solcher Aussagen ihr Geld mit KI verdienen und damit auch Erfolg haben, wie der Kurs des NASDAQ seit Anfang des Jahres zeigt.

Künstliche Intelligenz hat ohne jeden Zweifel viel Potential, und die Fortschritte der letzten Jahre in Theorie, Hardware und Software sind atemberaubend, wie nicht nur der spektakuläre Erfolg von Large Language Models wie (Chat)GPT zeigt. Gleichwohl ist die implizite Annahme, KI «könne alles», selbstverständlich falsch. Dazu ist zunächst zu beobachten, dass die in der Öffentlichkeit präsentierten Erfolge, so spektakulär sie sind, häufig in Anwendungsbereichen liegen, in denen eine objektivierte Messung der Qualität nicht notwendig zu sein scheint: Wie gut sind, um mit einem einfachen Beispiel zu beginnen, die Hintergrundfilter in Videokonferenzsystemen? Wie gut sind Bildsynthesesysteme, die photorealistische Bilder von Astronauten auf Schimmeln erzeugen? Wie gut sind von ChatGPT erzeugte Texte? In diesen Anwendungen kann die Bewertung dessen, was hinreichende Qualität ist, häufig im Nachhinein und eher intuitiv erfolgen: You know it when you see it. Gleichzeitig ist es offensichtlich, dass in medizinischen Anwendungen oder beim Bau autonomer Fahrzeuge vorab Gütekriterien und Schwellwerte festgelegt werden müssen. Und wenn KI in Unternehmen angewendet wird, ohne zu Beginn über objektivierbare Gütekriterien und Schwellwerte nachzudenken, gleichzeitig aber große Erwartungen zu kultivieren, stellt sich nicht selten Ernüchterung ein. Das ist der Fall, wenn im Nachhinein festgestellt wird, dass die Erwartungen nicht erfüllt werden können, weil etwa Daten fehlen, unvollständig oder falsch sind oder das zu lösende Problem sich schlicht als zu schwierig herausstellt.

Ein eindrückliches Beispiel für die Fähigkeiten und Defizite von KI sind Deep Fakes, als die man künstlich erstellte und täuschend echte Videos von Personen bezeichnet. Deep Fakes als solche zu erkennen, sehen viele nicht nur als technische, sondern vor allem auch als große gesellschaftliche Herausforderung. 2020 gab es einen vom damaligen Facebook-Konzern ausgelobten internationalen Wettbewerb, die Deep Fake Detection Challenge.[iii] Mit einem Preisgeld von $1.000.000 wurde die beste Software zur Erkennung von Deep Fakes ausgezeichnet, die in 2/3 der Fälle korrekt erkennen konnte (Accuracy), ob ein Video ein Deep Fakes ist oder nicht. Für einen praktischen Einsatz ist eine solche Genauigkeit vermutlich zu gering. Das Beispiel zeigt indes gleichzeitig eindrücklich, wie leistungsfähig KI ist, nämlich im *Erstellen* von Deep Fakes, und wo gleichzeitig heute noch deutliche Grenzen zu erkennen sind, nämlich im *Erkennen* von Deep Fakes. (Der Leser

und die Leserin frage sich an dieser Stelle, welche Qualität für die Erkennung von Deep Fakes in welchem Kontext denn *hinreichend* gut sei.) Zu erkennen, ob ein Text von ChatGPT oder von einem Menschen erstellt wurde, ist mit überzeugender Qualität heute ebenfalls nicht möglich.

Die zugrundeliegende Schwierigkeit ist konzeptioneller, technischer, pragmatischer und anwendungsbezogener Natur. Zum einen wird Künstliche Intelligenz, vor allem das heute prominente Maschinenlernen, häufig in denjenigen (zahlreichen!) Feldern angewendet, in denen das Problem nicht präzise beschreibbar und deswegen prinzipiell nur schwer regel- oder algorithmenbasiert lösbar ist – wie beschreibt man Regeln zur Erkennung von «Fußgängern», wenn Konzepte wie «Torso» oder «Arm» oder «Regenschirm» ihrerseits erst präzisiert werden müssen? Und wenn das Problem nicht klar fassbar ist, ist es offenbar schwierig, die Güte der Lösung klar zu erfassen. Zweitens sind die Gütekriterien als solche nicht kanonisch und auch nicht eindeutig: Es gibt zahlreiche auf der Konfusionsmatrix basierende Gütemaße, die über gegebene Testdaten empirisch ermittelt werden und insofern ihrerseits von der Qualität und erwünschten oder nicht erwünschen Repräsentativität der Testdaten abhängen. Solche Maße werden heute durch Maße zu Robustheit oder Fairness ergänzt, die intensiv erforscht werden – und für die es jeweils viele unterschiedliche Vorschläge gibt, die etwa im Fall von Fairness nachweisbar nicht gleichzeitig erfüllt werden können. Drittens liegt es in der Natur maschinengelernter Modelle, dass sie aus Beispielen lernen und diese verallgemeinern und insofern Fehler bei der Generalisierung nie vollständig ausgeschlossen werden können. Viertens ist die Verfügbarkeit adäquater, korrekter, vollständiger und markierter («labelled») Daten in hinreichender Menge stark abhängig vom betrachteten Kontext und stellt in der Praxis eine der größten Herausforderungen dar.

Es lässt sich festhalten, dass maschinengelernte Anwendungen in vielen Bereichen tatsächlich spektakuläre Erfolge vorweisen. Solche Anwendungen sind im technischen Sinn selten «gut» oder «schlecht». Manchmal ist eine Objektivierung der Qualität nicht notwendig. Häufig ist diese Frage aber relevant, wenn sie eher auf ein «wie gut ist diese Anwendung?» hinausläuft und, wie weiter unten erläutert, häufig die zusätzliche Frage nach einem «gut genug» zeitigt.

2. Anwendungen von ChatGPT und unsere Erwartungen

ChatGPT[1] und verwandte Produkte oder Technologien, deren Funktionsweise und zugrundeliegende Technik wir in Abschnitt 4 kurz skizzieren werden, sind Systeme, die auf Basis einer Anfrage, dem sogenannten *Prompt*, Texte erzeugen können. Auf die Frage «Was hat Albert Einstein in Wien gemacht?» gibt ChatGPT einen verblüffend gut formulierten Text aus, der in Teilen faktisch korrekt und in Teilen inkorrekt ist. Die Qualität der Antwort hängt stark von der Art ab, wie die Anfrage formuliert ist, was das neue Betätigungsfeld des «Prompt Engineering» aus der Taufe gehoben hat.[iv] Warum unabhängig von der Beschaffenheit des Prompts Korrektheit prinzipiell nicht garantiert werden kann, erläutern wir ebenfalls in Abschnitt 4.

Als System für die Erstellung von Texten hat ChatGPT naturgemäß zahlreiche Anwendungen. Die Idee ist dabei stets, dass aus einem kurzen Prompt ein längerer Text erstellt wird. Dieser Text kann entweder neue «Ideen» enthalten und so der Inspiration dienen; er kann aber auch eine Ausformulierung von Stichpunkten sein oder umgekehrt eine Zusammenfassung eines längeren Textes. ChatGPT kann dementsprechend produktivitätssteigernd wirken, wenn ein Mensch nicht mehr einen kompletten Text formuliert, sondern stattdessen die wesentlichen Inhalte oder die Argumentationslinie vorgibt und dann den erzeugten Text noch redigiert. Beispielhaft seien hier die Erstellung von Emails oder Social Media-Posts genannt; die Erstellung von Textvorlagen in der öffentlichen Verwal-

[1] ChatGPT wird hier stellvertretend für sog. Large Language Models im Allgemeinen und auch spezielle LLMs wie GPT4 oder PaLM oder LLaMa verwendet. Wir erläutern die Konzepte in Abschnitt 4, verzichten zunächst aber auf eine saubere Unterscheidung zwischen GPT und ChatGPT.

tung,[v] Arztbriefen oder Klageschriften; von Reden, Grußworten, Prüfungsfragen oder Gutachten; von Programmcode und Excel-Formeln; von Visualisierungsideen, Bildern und kompletten Videos; die Erstellung oder Optimierung von Drehbüchern; das Straffen von Texten sowie die Erstellung von Zusammenfassungen,[vi] Übersetzungen, Dokumentationen und automatisierten Reaktionen auf Anfragen im Call Center.

Da ChatGPT über die Fähigkeit verfügt, Informationen zum Kontext aus vorangegangenen Interaktionen in neue Interaktionen einfließen zu lassen, eignet es sich auch als Dialogpartner. Der Verfasser dieses Textes verwendet ChatGPT u.a. dazu, eigene neue Ideen im Frage stellen zu lassen. Die Dialogfähigkeit ist ein mächtiges Werkzeug auch dann, wenn ChatGPT zur (manchmal falschen!) Erläuterung von Sachverhalten oder Programmcode verwendet wird, was Potential insbesondere in der Lehre von der Primarstufe über die Universität bis hin zur beruflichen Weiterbildung bietet.

Besonders attraktiv erscheint ChatGPT auch, wenn es als natürlichsprachliche Schnittstelle zu Systemen fungiert, mit denen bisher nicht oder nur eingeschränkt natürlichsprachlich kommuniziert werden konnte. Wenn (technisch subtile) Anfragen an Datenbanken nun synthetisiert werden können oder das gesamte dokumentierte Wissen einer Organisation zum Training ChatGPT-artiger Technologie verwendet wird und dann natürlichsprachliche Anfragen über dieses gesamte, heute oft nicht zugreifbare Wissen, beantwortet werden können, erscheint das Potential wahrhaft gigantisch.

Allen Anwendungen ist gleichwohl gemein, dass die generierten Artefakte vom Menschen überprüft werden müssen, weil die Technik falsche oder irreführende Antworten derzeit nicht ausschließen kann – und falsche oder irreführende Antworten auch nicht eine seltene Ausnahme darstellen, sondern durchaus häufig auftreten, die sogenannten «Halluzinationen». Nicht selten werden Beispiele für diese Tatsache dann im Sinn der in Abschnitt 1 angerissenen schwarz-weißen Betrachtung für die Suggestion verwendet, dass «die Technik das eben einfach nicht kann» und dass die ganze Aufregung es gar nicht wert sei. Nach Ansicht des Verfassers liegt dieser Betrachtungsweise ein grobes Missverständnis zugrunde! Wenn die Erwartung ist, die Maschine mache keine Fehler bzw. sei so gut wie der Mensch – was selbstredend nicht dasselbe ist! –, dann ist die Enttäuschung vorprogrammiert. Wenn die Erwartung hingegen die ist, es hier mit einem Assistenzsystem zu tun zu haben, das die Arbeit in der Regel erleichtert oder beschleunigt oder einfach nur Spaß macht, mit einem System also, dessen Ergebnisse stets sorgfältig durch den Menschen geprüft werden müssen, dann ergibt sich ein anderes Urteil. Enttäuschung ist eine Funktion der Erwartung!

3. Zur Qualität der Ausgaben von ChatGPT

So, wie bei KI im Allgemeinen die wesentliche Frage nicht ist, «ob KI das kann oder nicht», sondern «wie gut KI das in einem bestimmten Kontext kann oder nicht», stellt sich die Situation auch speziell für ChatGPT dar. Und genau wie bei KI-Anwendungen im Allgemeinen gibt es Anwendungsfälle, bei denen ein objektivierter Qualitätsbegriff nicht wirklich wichtig ist: Wenn ein erster Wurf etwa eines Grußworts erstellt ist, kann dieses Grußwort verworfen, angepasst, gemeinsam mit ChatGPT verbessert oder direkt verwendet werden. Wenn ChatGPT Vorschläge für Gute-Nacht-Geschichten unterbreitet hat, können diese übernommen oder verworfen werden. Wenn ChatGPT die Idee für das Drehbuch einer Wissenschaftssendung erstellt hat, kann diese ebenfalls verworfen oder ggf. wiederum gemeinsam mit ChatGPT ergänzt oder angepasst werden. Ein Mensch kann also intuitiv beurteilen, ob die Qualität in einem gegebenen Zusammenhang hinreichend ist oder nicht – und dieses intuitive Verständnis ist häufig vollkommen ausreichend.

Gleichzeitig gibt es viele Situationen, in denen Qualität eine größere Rolle spielt. Arztbriefe, die auch heute oft mithilfe von Textbausteinen erstellt werden, bedürfen natürlich einer sorgfältigen Durchsicht. Klageschriften sollten dem konkreten Fall angemessen sein.[vii] Wenn Programmcode erstellt wird, sollte dieser Code das zu lösende Problem tatsächlich für alle möglichen Eingaben lösen und in diversen anderen Dimensionen[xii] «gut»

oder zumindest adäquat sein.[2] Wenn ChatGPT als Tutorsystem verwendet wird, sollten die Antworten vor allem dann korrekt sein, wenn die lernende Person nicht in der Lage ist, die Richtigkeit oder Plausibilität der Aussagen zu bewerten, was insbesondere für Kinder und Jugendliche der Fall sein dürfte.

Was in einem bestimmten Anwendungsfeld «gut» ist, ist in der Regel stark geprägt durch dieses Anwendungsfeld und vieldimensional häufig mit Konflikten zwischen diesen Dimensionen. Eine Herausforderung stellt die Überlegung dar, wann ChatGPT in einem gegebenen Zusammenhang *hinreichend gut* ist. Das Beispiel einer anderen Art von KI, der Diagnose durch einen Arzt, zeigt das sehr plastisch: ist ein maschinelles Diagnosesystem «gut genug», wenn es so gut ist wie der schlechte Arzt um die Ecke? Wie ein durchschnittlicher Arzt? Oder wie der internationale Spitzenmediziner? Fragen dieser Art sind komplex. Wenn hypothetisch 20% der Aussagen von ChatGPT im Einsatz als Tutorsystem in der fünften Klasse nachweislich falsch sind, darf dieses System dann überhaupt eingesetzt werden? Eine intuitive Antwort mag «natürlich nicht» lauten – aber wenn dem Kind keine anderen Möglichkeiten der Interaktion zur Verfügung stehen, kann man den Einsatz dann nicht rechtfertigen? Oder gibt es eine Schwelle für die Anzahl inkorrekter Antworten, die noch rechtfertigbar ist – im Wissen, dass wir alle unabsichtlich bisweilen Falsches sagen, sei das als Eltern, als Lehrer oder als Universitätsprofessoren? Hier sei auch auf das (problematische) utilitaristische Argument verwiesen, ein autonomes Fahrzeug sei dann hinreichend sicher, wenn es im Schnitt so sicher fahre, sei wie der Mensch. Eine Diskussion über die Notwendigkeit nicht nur utilitaristischer, sondern auch deontologischer ethischer Argumente würde den Rahmen dieses Textes sprengen.

Es ist i.A. sehr schwierig, die Qualität der Ausgaben von ChatGPT oder vergleichbaren Systemen zu objektivieren und zu bewerten. Das liegt nicht zuletzt daran, dass die Fragestellungen, die solche Systeme behandeln, sehr breit gestreut sind und die Problemstellung dementsprechend nicht präzise fassbar ist, was auch die Definition und Bemessung von Qualität a priori erschwert (s. die einführenden Bemerkungen zur Qualität von KI in Abschnitt 1). Ein Ansatz zur Bewertung besteht darin, ChatGPT standardisierte Prüfungen durchführen und ohne Wissen des maschinellen Verfassers durch Menschen bewerten zu lassen. Das Bayerische Abitur 2023 etwa wäre von ChatGPT mit der Note «gut» bestanden worden.[viii] ChatGPT hat auch standardisierte internationale Tests absolviert und liegt nicht selten in den Top-Ten im Vergleich mit Menschen, die denselben Test absolviert haben.[ix] Der IQ von GPT-4 ist 124.[x]

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass ChatGPT konstruktionsgemäß nicht immer korrekte oder adäquate Antworten liefern kann. Nach Ansicht des Verfassers mündet das in die wichtige gesellschaftliche Fragestellung, welche Qualität wir in welchem Kontext denn für hinreichend halten. Oft erkennen wir das intuitiv sofort, auch ohne Objektivierung dessen, was gut genug ist. In jedem Fall sind ChatGPT und vergleichbare Systeme als Assistenten zu begreifen, deren Ausgabe immer durch einen Menschen überprüft werden muss – und die Qualität der Ausgabe hängt von der Qualität des Prompts ab. Der Einzelnachweis, dass ChatGPT eine bestimmte Frage falsch beantwortet, ist wohlfeil und in der Debatte nicht zielführend.

4. Die Technik hinter ChatGPT

Nach Ansicht des Verfassers war Ende 2022 ein gewisses Abflachen des KI-Hypes zumindest im deutschsprachigen Raum beobachtbar. Mit der Veröffentlichung von ChatGPT, in den Worten des Vorstandsvorsitzenden von NVIDIA dem «iPhone-Moment der KI», wurde ein neuer Zyklus des Hypes gestartet. Künstliche Intelligenz, eine nach Ansicht des Verfassers geniale Bezeichnung, die gleichzeitig der menschlichen Intelligenz sicher nicht

[2] Die Qualität der Erzeugung von Code durch KI wird häufig über Benchmarks gemessen: Eine vorgegebene Anzahl von Programmieraufgaben wird mit KI gelöst, und dann wird über Tests näherungsweise herausgefunden, ob der Code das tut, was er tun soll. Die Anzahl der richtigen Lösungen befindet sich zwischen 20 und 80 Prozent. Benchmarks u.a. bei https://arxiv.org/pdf/2202.13169.pdf und https://arxiv.org/abs/2107.03374, s. auch https://dl.acm.org/doi/10.1145/3520312.3534864 zur Produktivität.

gerecht wird, ist eine spezielle Form von Software, also Computerprogrammen. In klassischen Programmen wird die von einem Menschen erdachte Lösung eines Problems in immer kleinere Schritte zerlegt, die ebenfalls durch einen Menschen sehr präzise formuliert werden müssen. Mit maschinengelernten Modellen, der ChatGPT zugrundeliegenden KI-Technologie,[xi] wird hingegen der Ansatz verfolgt, nicht den Lösungsweg zu formulieren, sondern diesen anhand von Beispielen zu lernen und existierende Beispiele, die Trainingsdaten, möglichst adäquat zu generalisieren.[xii]

ChatGPT als ein Vertreter der sogenannten generativen KI basiert auf einem speziellen Verfahren des Maschinenlernens, sog. neuronalen Netzen, hier speziell großen Sprachmodellen (Large Language Models, LLMs).[xiii] ChatGPT besteht aus zwei Teilen, einer Schnittstelle für die «Unterhaltung» (Chat) mit dem neuronalen Netz, und dem LLM, einem sog. «Generative Pretrained Transformer» (GPT).[3] Neuronale Netze bilden Eingaben auf Ausgaben ab, berechnen also mathematische Funktionen. Das können Klassifizierungen von Objekten sein (Bilder oder Videos werden auf die Klassen Fußgänger, Auto, Straßenschild, Entscheidung «defektes Teil» oder «nicht defekt» abgebildet), Positionsangaben (Bilder oder Videos werden auf die Positionen von Fußgängern, Autos, Straßenschildern abgebildet), Vorhersagen über die Leistung von Studierenden (Lebensläufe werden auf Noten im Abschlusszeugnis abgebildet), schwierige Optimierungsprobleme (Landkarten und Anfangspositionen werden auf möglichst kurze Wege abgebildet) usw. Im Fall von LLMs werden Texte, Bilder, Videos, Audio, Code auf Texte, Bilder, Videos, Audio, Code abgebildet. So bildet ChatGPT den oben eingeführten Prompt, die textuelle Eingabe, auf einen (Antwort-)Text ab; Midjourney (und inzwischen auch der ChatGPT-Assistent in Microsofts Suchmaschine Bing) bildet Texte auf synthetische Bilder ab; CoPilot bildet Codefragmente u.a. auf mögliche Fortsetzungen des Codes oder Erklärungen des Codes ab.[xiv]

Vor ihrer Verwendung müssen neuronale Netze trainiert werden. Technisch besteht ein neuronales Netz grob gesagt aus Neuronen und Verbindungen zwischen diesen Neuronen, die in hintereinanderliegenden Schichten angeordnet werden. Es gibt unterschiedliche Architekturen solcher Netze. Im Wesentlichen werden Neuronen einer Schicht mit Neuronen der direkt dahinterliegenden Schicht verbunden, so dass jedes Neuron eine Menge von Verbindungen zu den Neuronen der davorliegenden und der dahinterliegenden Schicht aufweist. Rückkopplungen sind in manchen Architekturen neuronaler Netze ebenfalls üblich. Im Fall von ChatGPT in der Version 3.5 gibt es 96 solcher Schichten und ca. 175 Milliarden Verbindungen zwischen den Neuronen.

Die Verbindungen sind mit einer Verbindungsstärke versehen, einer Zahl, die während des sogenannten Trainings berechnet wird. Im Training wird für die Trainingsdaten der Fehler der Vorhersage durch das Netz minimiert. Wie genau dieser Prozess aussieht, kann hier nicht ausgeführt werden. Trainiert werden die LLMs jedenfalls mit großen Datenmengen, im Fall von GPT 3.5 mit etwa 600 Gigabyte Text vornehmlich aus dem Internet, was der Textmenge von ungefähr 120.000 Bibeln entspricht. GPT wird in einem zweiten Schritt manuell trainiert, dem sogenannten überwachten Lernen, in dem die Reaktion des LLM auf vorgegebene Prompts von Menschen händisch überprüft wird. Im Wesentlichen wird die positive oder negative Rückkopplung durch den Menschen verwendet, um die Verbindungsstärken zwischen den Neuronen zu verändern, so dass bei Vorliegen einer negativen Rückkopplung zukünftig eine andere Antwort gegeben wird. In einem dritten wiederum automatisierten Schritt findet sogenanntes Reinforcement Learning statt, in dem das Modell aus Reaktionen auf die Ausgabe selbst feststellt, wie seine vorherige Antwort nicht noch verbessert werden kann und diese Information wiederum für eine Modifikation der Verbindungsstärken verwendet.[xv]

Die erste Schicht des neuronalen Netzes ist die Eingabeschicht, an die die Eingaben als eine Liste von Zahlen angelegt werden, für jedes Neuron der Eingangsschicht eine solche

[3] Zur Abgrenzung: Neuronale Netze sind eine populäre Technik der KI. LLMs sind spezielle neuronale Netze, die im Rahmen der generativen KI eingesetzt werden, deren Ziel das Erzeugen von Text, Audio, Video, Code ist. GPT ist ein LLM. ChatGPT ist GPT in den Versionen 3.5 oder 4 mit einer natürlichsprachlichen Schnittstelle. Aus sprachlichen Gründen differenzieren wir nicht immer sauber zwischen den Konzepten.

Zahl. Im Fall von ChatGPT repräsentiert diese Liste von Zahlen die Wörter des Prompts, die auf eine spezielle Art und Weise für jeden Prompt in eine solche Liste von Eingabezahlen umgewandelt werden. Die Ausgabeschicht codiert das Ergebnis der Berechnung. Im Fall von ChatGPT repräsentiert jedes Ausgabeneuron genau ein Wort, für das eine Wahrscheinlichkeit berechnet wird, die im Wesentlichen darstellt, was bezüglich des «Wissens» von ChatGPT das wahrscheinlichste, das zweitwahrscheinlichste, drittwahrscheinlichste usw. nächste Wort des Prompts ist. Eins der wahrscheinlichsten Fortsetzungswörter wird ausgewählt, hinten an den Prompt gestellt, und der resultierende neue Prompt wird wieder als Eingabe ausgewählt und das wahrscheinliche zweite Folgewort berechnet. Dieses wird wiederum an den ergänzten Prompt angehängt, um das dritte wahrscheinlichste Wort zu berechnen usw. Wenn nicht stets das nächste wahrscheinlichste Wort ausgewählt wird, sondern ein etwas weniger wahrscheinliches, kann so die wahrgenommene «Originalität» des Texts erhöht werden.

Aus dieser grob vereinfachten Darstellung sieht man sofort, dass GPT über kein «Verständnis» in einem intuitiven Sinn verfügt, sondern «nur» wahrscheinliche nächste Wörter berechnet. Die Technologie wird entsprechend auch als «stochastischer Papagei» bezeichnet. Dass ChatGPT häufig Ausgaben von verblüffender Qualität erfolgt, erstaunt auch diejenigen, die die Technik vollständig verstehen. Die Tatsache, dass ChatGPT immer das nächste wahrscheinlichste Wort berechnet wird, erklärt auch das Phänomen des o.g. Halluzinierens, die Berechnung von in der Regel eloquent formulierten, aber vollständig falschen oder gar sinnbefreiten Antworten. Schließlich hängt die Qualität der Ausgabe maßgeblich, wie bereits erwähnt, von Inhalt und Form des Prompts ab.

Aus der Technologie ergibt sich auch, dass ein tiefergehendes mathematisches Verständnis nicht zu erwarten ist. Der Trend geht deswegen heute in vielen Anwendungsgebieten dahin, ChatGPT mit anderen Werkzeugen zu koppeln – mathematischer Software, Internetrecherche, Werkzeugen der Softwareentwicklung.

5. Auswirkungen von ChatGPT

Die Diskussion um die gesellschaftlichen Auswirkungen von ChatGPT ist wie die Diskussion um KI allgemein bisweilen von Hysterie und Polarisierung geprägt. Wie die Technologie der LLMs die Gesellschaft verändern wird, kann niemand vorhersagen. Erste Einschätzungen und informierte Spekulationen scheinen mittlerweile aber möglich. Wie viele andere ist auch der Verfasser dieses Textes der Ansicht, dass ChatGPT signifikanten Einfluss auf viele Bereiche unseres Lebens haben wird.

In Abschnitt 2 haben wir Beispiele konkreter Anwendungsfälle skizziert und in Abschnitt 3 ausgeführt, wie kontextabhängig und schwierig es ist, die Qualität von Antworten zu definieren und zu bemessen. Wir haben auch gesehen, dass die Frage nach der hinreichenden Qualität mindestens ebenso schwierig ist. Wir haben dargelegt, dass ChatGPT als Assistenzsystem zu sehen ist, das Menschen kreativer, freudiger und effizienter arbeiten lässt. Die Frage, ob ChatGPT Menschen *ersetzt*, stellt sich nach Ansicht des Verfassers nur in sehr wenigen Fällen, vielleicht bei Katalog-Models oder Schauspielern.[xvi] Häufig zitierte Anwendungsfelder wie etwa die Buchhaltung oder das Verfassen von Emails, Newslettern und Social Media-Posts werden nach Ansicht des Verfassers immer von Menschen begleitet werden, die Plausibilität, Korrektheit, Vollständigkeit und Tonalität überprüfen werden (müssen). Hier gilt wohl der mittlerweile etwas abgedroschene Slogan, dass ein Mensch nicht durch generative KI ersetzt wird, sondern durch einen anderen Menschen, der generative KI verwendet.

Wir haben bereits argumentiert, dass wohl in vielen Anwendungsfeldern davon auszugehen ist, dass eine Verschiebung vom Schaffenden hin zum Überprüfenden erfolgen wird, was insbesondere die Notwendigkeit zeitigt, über die Fähigkeit zum kritischen Reflektieren, zum Überprüfens und die Urteilskraft nachzudenken.[xvii] Prompt Engineering allein wird in den meisten Fällen sicherlich nicht ausreichen, auch wenn natürlich das iterative Verbessern eines Prompts in der Regel durch Unzufriedenheit mit dem Ergebnis veranlasst sein wird.

Es gibt unzählige Anwendungsfelder, und jedes einzelne Anwendungsfeld verdient eine umfassende Betrachtung, der wir hier nicht gerecht werden können. Im Rahmen dieses Texts wollen wir deswegen für einige wenige ausgewählte Anwendungsfelder relevante Perspektiven skizzieren, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Es wird auch klar werden, dass für viele Herausforderungen heute noch keine überzeugenden Antworten existieren.

5.1. Lehren und Lernen

Ein wichtiges Anwendungsfeld ist das Lehren und Lernen, das wir in der Diskussion um die Qualität von ChatGPT als Tutorsystem bereits angerissen haben. Um nur zwei Beispiele zu nennen, ist ChatGPT nach Ansicht des Verfassers erstaunlich gut darin, Code zu erklären, aber auch darin, etwa grammatikalische Analysen lateinischer Sätze durchzuführen. Natürlich können die Aussagen von ChatGPT falsch sein, was in einem Lehrer-Schüler-Verhältnis herausfordernd ist, weil die Schüler ja eigentlich der fachlichen Autorität des Lehrers vertrauen können sollten. Gleichzeitig eröffnet die Möglichkeit des Dialogs mit ChatGPT enorme didaktische Spielräume, vor allem dann, wenn dialogisches Lernen mit ChatGPT zu jeder Tageszeit und in beliebigem Tempo mit dem heute häufig vorherrschenden Frontalunterricht kontrastiert wird. Nach Ansicht des Verfassers ist davon auszugehen, dass grundlegende Zusammenhänge in (Berufs-)Schule und Studium in naher Zukunft mit guter Qualität durch ChatGPT auch im Dialog gelehrt werden können – was heute noch nicht der Fall ist, wenn etwa das Werkzeug Perplexity fälschlich erklärt, dass «Längengrade vom Nord- zum Südpol verliefen, *also von links nach rechts*».

Unabhängig vom gelehrten bzw. gelernten Fach stellt sich die Frage, welche Fähigkeiten Lernenden beigebracht werden müssen. Wir haben gesehen, dass die Fähigkeit zum Überprüfen von Antworten Teil einer allgemeineren Urteilsfähigkeit ist, die entsprechend trainiert werden muss – sofern das überhaupt möglich ist und eine solche Urteilsfähigkeit sich nicht ohnehin erst in der Praxis einstellen kann (und dass Urteilskraft auch Herzensbildung ist, vernachlässigen wir hier). Grob gesagt kann nur der- oder diejenige Programmcode bewerten, der oder die selbst programmieren kann. Wir gehen davon aus, dass sich das in anderen Fachgebieten ganz ähnlich verhält. Für die Ausbildung bedeutet dies, dass wir bzgl. der zu lernenden Inhalte vielleicht gar nicht so viel verändern müssen. Die Fähigkeit zur kritischen Analyse hingegen kann vielleicht im Sinn einer Kompetenzorientierung noch stärker gefördert werden, also im Fall von Programmcode die Fähigkeit, den Code als funktional korrekt, adäquat und performant anzusehen, was sich in Techniken wie dem Lesen oder Testen von Code niederschlägt.

5.2. Prüfungswesen

Eng verbunden mit neuen Möglichkeiten und Stolpersteinen in der Ausbildung ist das Abprüfen des Gelernten. Wir haben bereits gesehen, wie gut ChatGPT standardisierte Prüfungen oder das Abitur bestehen kann. Auch Klausuren zu Informatikvorlesungen werden von ChatGPT mit «gut» bestanden. Solange sichergestellt werden kann, dass Studierende Prüfungen ohne Hilfe von ChatGPT anfertigen, ändert sich scheinbar nicht viel. Allerdings ist die Notwendigkeit von Fernprüfungen – und übrigens auch die damit einhergehende organisatorische Erleichterung – während der Corona-Pandemie offenbar geworden; entsprechende Gesetze wurden verabschiedet. Wir haben bereits bemerkt, dass derzeit nicht mit hinreichender Genauigkeit automatisiert entschieden werden kann, ob ein Text menschlichen oder maschinellen Ursprungs ist. Es stellt sich also die Frage, wie in Zeiten von ChatGPT Prüfungen oder Teile davon abgelegt werden sollen, wenn nicht sichergestellt werden kann, dass ChatGPT für die Bearbeitung verwendet wurde.

Nicht nur Klausuren im Studium, auch Hausaufgaben von der Primarschule bis zur Universität sind eine Form der Prüfungsleistung. Wenn die Versuchung zu groß ist, diese Leistungen nicht selbst, sondern durch oder mit ChatGPT erstellen zu lassen, sind gutgemeinte Ratschläge der Art, dass man ja nun einmal für das Leben und nicht die Schule lerne, eingeschränkt hilfreich. Wir haben an anderer Stelle die verschiedenen Aspekte und Zielsetzungen von Prüfungen im Zusammenhang mit ChatGPT dargelegt.[xviii] Mündliche Leistungskontrollen sind prinzipiell geeignet, wirkliches Verständnis abzufragen. Sie

skalieren aber nicht, was im Fall von Anfängervorlesungen in Informatik an der TU München deutlich wird, die regelmäßig mit mehr als 2000 Prüflingen stattfinden.

Der Versuch der Durchsetzung eines Verbots von ChatGPT für Prüfungsleistungen scheint uns in der Regel aus praktischen Gründen letztlich auch perspektivisch zum Scheitern verurteilt. Alternativ kann der Einsatz von ChatGPT in der Prüfung explizit verlangt werden und die Reflexion über den Dialog mit dem Werkzeug Teil der Prüfungsleistung sein. So wird der Einsatz des Systems nicht nur Teil der Lehre, sondern die kritische Reflexion Teil der Prüfung.

Es wird nicht allen leichtfallen, der Versuchung zu widerstehen, Haus-, Seminar- und Abschlussarbeiten mit Hilfe von ChatGPT zu erstellen. Abhängig vom Fach kann man sich aber fragen, wie schlimm das eigentlich ist. Wenn Prüfende mit Texten konfrontiert werden, die dank ChatGPT von akzeptabler Qualität sind, was nicht immer selbstverständlich ist, dann gibt es mindestens zwei Perspektiven, aus denen ChatGPT als hilfreich anerkannt werden kann. Das hängt natürlich vom Fach ab. In der Informatik etwa ist der wesentliche Beitrag einer Abschlussarbeit häufig ein Computerprogramm, ein Experiment, ein Konzept oder eine empirische Untersuchung. Der Text, der diesen Beitrag der Abschlussarbeit beschreibt, ist dann nur ein Teil der Prüfungsleistung, was in anderen Fachgebieten anders sein mag, wo der Text selbst die zentrale Leistung darstellt. Gleichwohl ist unbenommen, dass die Fähigkeit zur Destillierung des Wesentlichen und dessen sprachliche Ausgestaltung natürlich eine wesentliche Kompetenz darstellen und trainiert werden müssen.

Schließlich kann ChatGPT umgekehrt gewinnbringend auch für die Formulierung und Vorabdiskussion von Prüfungsfragen verwendet werden.

5.3. Dokumentation

Attraktiv erscheint die Verwendung von ChatGPT zur Erstellung von ausformulierten Dokumentationen, die in vielen Lebensbereichen gefordert und/oder sinnvoll sind. Die grundlegende Idee ist, dass im Prompt die wesentlichen Informationen vorgegeben und die durch ChatGPT erstellte Dokumentation durch einen Menschen überprüft und unterschrieben wird. Sinn der Dokumentation ist ja letztlich die Möglichkeit der Zuschreibung von Verantwortung an Menschen. Auf den ersten Blick mag der Ansatz unsinnig erscheinen, weil es ja zunächst scheinbar ausreichen würde, allein den Prompt abzuspeichern, aus dem die Dokumentation beliebig oft erzeugt werden kann. Prompts sind aber üblicherweise im Wesentlichen Stichworte, die viel Interpretationsspielraum lassen – und die Ausformulierung engt diese Spielräume ein, wie jeder weiß, der selbst einen Text auf der Basis von Stichpunkten ausformuliert. Entscheidend ist in jedem Fall die abschließende Prüfung durch den Menschen und seine Unterschrift.

5.4. Urheberschaft und -recht

Wenn ChatGPT einen Text erzeugt, wer ist dann im rechtlichen Sinn dessen Urheber? Im deutschen Recht kann das nur ein Mensch sein.[xix] In Abschnitt 4 haben wir gesehen, dass ChatGPT Prompts im Wesentlichen jeweils mit einem nächstwahrscheinlichen Wort fortsetzt, was die Frage nach einer wie auch immer gearteten schöpferischen Leistung aufwirft. Wir wollen uns hier der Diskussion entziehen, ob oder in welchem Sinn ChatGPT kreativ ist. Gleichwohl stellt sich die Frage, was die Verwendung eines Werkzeugs wie ChatGPT fundamental von der Verwendung etwa einer Internetrecherche oder das begleitende Lesen von Büchern bei der Erstellung eines Textes unterscheidet. Auch hier werden letztlich Ideen aus existierenden Quellen aufgegriffen, mit anderen Ideen amalgamiert und in eine Argumentation gegossen. Natürlich ist die Auswahl der Quellen und die Destillierung des Wesentlichen darin als solches ein schöpferischer Prozess – aber macht es wirklich einen fundamentalen Unterschied, ob dieser Prozess durch einen Menschen oder eine Maschine durchgeführt wird, und sei dieser Prozess nur statistischer Natur?

Wie im Feld der Medien herrscht heute jedenfalls im Bereich des Software Engineering Skepsis, ob durch generative KI erzeugter Code überhaupt verwendet wird und das nicht ggf. doch urheberrechtliche Konsequenzen hat. Viele Unternehmen trauen sich schlicht nicht, solchen generierten Code zu verwenden. Microsoft, das hinter dem Werkzeug

CoPilot steht, übernimmt deswegen derzeit prinzipiell die Verantwortung für zukünftige gerichtliche urheberrechtliche Auseinandersetzungen.[xx]

Vielleicht ist es aber auch angezeigt, den Begriff des Urheberrechts generell zu überdenken, was offensichtlich notwendig und nicht nur der Tatsache geschuldet ist, dass zumindest im deutschen Recht Maschinen als Urheber nicht vorgesehen sind. Wir haben an anderer Stelle[xvii] darauf hingewiesen, dass der Begriff der Urheberschaft kulturellen Prägungen unterliegt und auch durchaus widersprüchlich ist. Alten Meistern etwa werden Kunstwerke wie Statuen oder Bilder allein zugeschrieben, auch wenn natürlich ein ganzer Stab an Mitarbeitern maßgeblichen Anteil an diesen Kunstwerken hatte. Reden und Bücher werden häufig von Ghostwritern verfasst, Assistenten an der Hochschule helfen bei der Vorbereitung von Vorlesungsfolien. Und jeder Mensch macht sich bewusst oder unbewusst Ideen zu eigen, wenn er Zeitung liest, Diskussionen führt oder sich Texte wie diesen einverleibt – häufig, ohne die Quelle dieser Ideen anzugeben und bisweilen nach einer gewissen Zeit in der Überzeugung, diese Idee selbst gehabt zu haben.

Wichtigen Raum in dieser Diskussion nimmt die Frage nach der Kennzeichnung von Quellen ein, was etwa in der Wissenschaft konstitutiv ist. Es ist offenkundig, dass ein solcher Verweis auf Quellen angesichts der statistischen Natur der Erzeugung von Ausgaben prinzipiell schwierig, wenn nicht unmöglich ist. Ein populäres Vorgehen heute ist vereinfacht gesagt, die von ChatGPT erzeugte Ausgabe als Anfrage an eine Internet-Suchmaschine zu schicken und die relevantesten Resultate als Quellen anzugeben. Ob das dem Wunsch oder der Pflicht gerecht wird, Quellen angemessen zu zitieren, sei dahingestellt.

5.5. Graphisches und textuelles Design

In der regelmäßigen Erstellung von Texten wie etwa Newslettern, Emails oder Social Media Posts ist die Verwendung von ChatGPT heute anekdotisch bereits weitgehend der Normalfall – auch wenn es einzelne Fälle gibt, bei denen die «Manufaktur» von Texten ohne Verwendung von KI als Verkaufsargument verwendet und zur Rechtfertigung höherer Preise in Stellung gebracht wird. In welchen Fällen Kunden willens sind, den höheren Preis für solche rein händisch – oder auch hybrid von Mensch und Maschine – erzeugten Produkte zu bezahlen, wird sich herausstellen. Anforderungen an Qualität und Angemessenheit der Tonalität der Texte sind sicherlich von den konkreten Gegebenheiten abhängig. ChatGPT wird auch verwendet, um Bücher, Drehbücher,[xvi] Geschichten oder Gedichte zu verfassen – oder längere Texte zusammenzufassen,[vi] was möglicherweise rechtliche Herausforderungen birgt. Ob auch hier die Qualität jeweils hinreichend gut ist, hängt natürlich wiederum vom Einsatzgebiet ab.

Erneut sei kurz darauf verwiesen, dass LLMs auch zur Synthese von Bildern oder Videos verwendet werden können. Typische Beispiele sind die Erstellung von Bildern nicht nur in der Werbung, von multilingualen Firmenvideos[xxi], oder von vollständigen Videos aus ebenfalls von LLMs erstellten Drehbüchern. Wir sehen enormes Potential in der entsprechenden Technologie, müssen hier aber aus Platzgründen auf eine weitere Erörterung verzichten.

5.6. Software Engineering

Software Engineering beinhaltet neben dem Erstellen von Code viele andere Aktivitäten etwa im Requirements Engineering, dem Design von Architekturen, der Erklärung, Optimierung und Umstrukturierung von Code, dem Testen, der Dokumentation und der Wartung. Spezielle für die Erstellung von Code geschaffene LLMs werden schon seit geraumer Zeit in unterschiedlichen entsprechenden Anwendungen untersucht.[xxii] Generell gilt offensichtlich, dass LLMs die gestellten Aufgaben im Software Engineering dann zufriedenstellender lösen können, wenn dieselbe oder ähnliche Aufgaben in der Vergangenheit bereits gelöst wurden und dieses Wissen gleichsam beim Training in das LLM «eingebacken» wurde. Dies ist übrigens erstaunlich häufig der Fall.

Bei der Codeerzeugung erstellen LLMs Code aus einer Aufgabenstellung heraus oder unterbreiten Vorschläge für die Fortsetzung bereits geschriebenen Codes. Im Unterschied zu anderen Anwendungsgebieten von LLMs ist eine besondere Herausforderung hier, dass der Code exakt das tun muss, was die Aufgabenstellung verlangt, also für jede Programmeingabe fehlerfrei funktionieren muss. Der Bewertung des erzeugten Codes durch Lesen

oder durch Testen kommt also besondere Wichtigkeit zu. In dieser Hinsicht ist es fast erstaunlich, wie gut die Erstellung von Code mit LLMs funktioniert! Der Hersteller des Werkzeugs CoPilot etwa berichtet, dass viele Code-Vorschläge angenommen werden und dass, wichtiger vielleicht, Software-Ingenieure ihre Arbeit mit CoPilot als durchgängiger und produktiver empfinden.[xxiii] Anekdotische Evidenz suggeriert, dass erzeugter Beispielcode sehr nützlich ist, um die Funktionsweise neuer Technologien zu verstehen; dass es manchmal aber einfach schneller ist, den Code selbst zu schreiben, anstatt iterativ einen Prompt zu verbessern und jeweils das Ergebnis überprüfen zu müssen. Es gibt den Scherz, dass früher 23 Stunden codiert und eine Stunde getestet wurde – und heute eben mit LLMs eine Stunde codiert und 23 Stunden getestet wird. Die Qualität des erzeugten Codes hängt natürlich wiederum von der Detailtiefe und Strukturierung des Prompts ab. Eine Aufgabe von Programmierern ist es, Konzepte aus dem fachlichen Anwendungsbereich der zukünftigen Software in technische Konzepte zu übersetzen. Nach Ansicht des Verfassers wird es hier noch einige Zeit dauern, bis dieser kreative Schritt von Maschinen übernommen werden kann – wenn das überhaupt jemals der Fall sein kann.

LLMs scheinen auch sehr nützlich bei der Erzeugung von schablonenhaftem Code etwa für Tests zu sein. Bei der Testlogik und den verwendeten Eingabewerten für Tests hingegen ist es ebenfalls nicht immer klar, ob die nicht schneller durch einen Menschen erzeugt werden. Anekdotisch wird weiterhin großes Potential in der Erzeugung der Dokumentation sowie in der Erklärung von Code gesehen.

Festzuhalten ist, dass die Verwendung von LLMs in die tägliche Praxis der Software-Entwicklung bereits Einzug gehalten hat. Wie weit das Automatisierungspotential reicht, wird sich zeigen. In jedem Fall ist wohl davon auszugehen, dass Assistenten wie CoPilot zukünftig ein selbstverständlicher Teil der Entwicklungsumgebungen von Software-Ingenieuren sein werden. Gleichzeitig werden Software-Ingenieure sicherlich nicht durch LLMs ersetzt werden: Ein großer Teil des Software-Engineering besteht in der Kommunikation mit Auftraggebern, dem Verständnis von Anforderungen, der Festlegung adäquater Strukturen, die Übersetzung von Konzepten aus dem Wirkbereich der Software in technische Strukturen und der Überprüfung, ob ein Softwaresystem das tut, was es tun soll – was alles Aktivitäten sind, für die wesentliche Unterstützung durch LLMs nur schwierig vorstellbar ist.

6. Risiken

Dieser Aufsatz nimmt bewusst und aus tiefer Überzeugung eine eher chancenorientierte Perspektive auf ChatGPT und verwandte Technologien ein. Zum Abschluss wollen wir dennoch auf einige wohlbekannte Risiken hinweisen.

Auf die gesellschaftlichen Auswirkungen von Deep Fakes mit entsprechenden computergenerierten Texten haben wir bereits hingewiesen. Wenn es einfach möglich ist, etwa politische Konkurrenten mit fragwürdigen Situationen oder Aussagen in Verbindung zu setzen, wird es angesichts der Wirkmacht von Bildern und Videos schwierig sein, einen einmal erzeugten Eindruck zu korrigieren. Vielleicht wird es technisch möglich sein, Deep Fakes mit hinreichend guter Genauigkeit zu erkennen oder zumindest Nutzer auf eine erhöhte Wahrscheinlichkeit hinzuweisen, dass ein Video ein Fake ist. In jedem Fall gilt auch hier bestimmt, dass ein ausgebildetes Urteilsvermögen hilfreich ist.

Häufig wird darauf hingewiesen, dass durch die Konstruktion von LLMs eine Mehrheitsmeinung zementiert wird. ChatGPT etwa konnte eine linksliberale «Meinung» zugeschrieben werden,[xxiv] die darin gründet, dass dies die im Internet verbreitetere politische Ausrichtung zu sein scheint. Es gibt auch die Sorge, dass die Kreativität der Menschheit eingeschränkt wird, wenn im Wesentlichen Texte erstellt werden, die auf bereits bestehenden Texten basieren. Der Verfasser ist nicht sicher, wie groß dieses Problem wirklich ist, wenn nicht zuvor herausgefunden wird, wieviel von Menschen erstellter Text in der Vergangenheit ebenfalls letztlich bestehende Ansichten reproduziert hat.

Eine weitere Sorge betrifft den sogenannten Automation Bias. Es ist bekannt, dass Menschen nachlässig oder unaufmerksam werden, wenn von einer Maschine gemachte Vorschläge fast immer richtig oder adäquat oder hinreichend gut sind. Die simple

Aufforderung zu geistiger Regsamkeit hilft da natürlich nicht. Eine Fortsetzung dieses Belangs ist das sog. Deskilling, das die Tatsache bezeichnet, dass Menschen bestimmte Fähigkeiten verlieren, wenn sie durch Maschinen erledigt werden können. Das Standardbeispiel ist das Lesen von Landkarten, wenn es Navigationssysteme gibt. Der Verfasser ist nicht sicher, ob das wirklich ein großes Problem darstellt und verweist darauf, dass bereits in der Antike die Erfindung der Schrift kritisiert wurde, da damit die Menschen ihr Erinnerungsvermögen verlören.

Schließlich gibt es die Sorge, dass mit LLMs Schädlinge geschaffen werden können – natürliche Schädlinge im Sinn etwa von «Killerviren» und künstliche Schädlinge im Sinn von Schadsoftware. Zu ersteren kann der Verfasser keine Aussage treffen. Zu zweiteren steht der Nachweis noch aus, dass schwer zu erkennende und großen Schaden anrichtende Malware durch LLMs entwickelt werden kann. Was ein Problem darstellen mag, ist die Verfügbarkeit von LLMs und somit die noch einfachere Erstellung von Malware durch jedermann.

ChatGPT eröffnet zahlreiche ethische Fragestellungen. Wir haben bereits die Frage angesprochen, ob ChatGPT als Tutorsystem verwendet werden darf, wenn falsche Aussagen nicht nur die Ausnahme sind. Es ergeben sich offensichtliche Fragestellungen – eher einfache der Art «wie soll eine mit ChatGPT ausgestattete Puppe auf Fragen nach dem Weihnachtsmann reagieren?»; komplexere wie «soll ChatGPT als Dialogpartner für Demenzkranke fungieren dürfen?»; und noch anspruchsvollere der Art «sollen wir bösartige Schaftsoftware erzeugen lassen, um zu lernen, wie wir uns verteidigen können?» An dieser Stelle überlassen wir die Fragen Kundigeren.

Wenngleich vielleicht kein Risiko im engeren Sinn, betrifft die größte Sorge vermutlich die Unsicherheit, welchen Einfluss LLMs auf die Perspektive bestimmter Berufsgruppen hat. Wir haben im Text wiederkehrend darauf hingewiesen, dass einzelne Gruppen möglicherweise in der Tat ersetzt werden können; dass aber in den meisten Fällen davon auszugehen ist, dass LLMs mächtige Assistenten sind, die aber eben in dieser Funktion der menschlichen Steuerung und Überprüfung bedürfen.

Zuletzt sei die Risikoeindämmung durch gesetzliche Regulierung angesprochen. LLMs haben als sogenannte Foundational Models im Nachhinein Eingang in den derzeit diskutierten AI Act der EU gefunden, sind also ein Werkzeug der KI und werden in der Entwicklung anwendungsbezogen bzgl. ihrer Risikoklasse reguliert. Der risikoklassenbasierte Ansatz ist sicherlich einleuchtend; ob allerdings die Regulierung von Technik selbst anstelle einer sektoralen Regulierung der Anwendung nicht nur politisch gangbar, sondern auch inhaltlich angemessen ist, wird sich herausstellen müssen.

7. Schluss

Generative KI mit LLMs wie ChatGPT erzeugen Texte, Bilder, Videos und Audio in häufig wirklich verblüffender Qualität. Diese Qualität hängt zum einen von der Beschaffenheit der Eingabe, des Prompts ab. Wenn ChatGPT zunehmend als natürlichsprachliche Schnittstelle zu anderen, komplexeren Systemen verwendet wird, müssen wir lernen, entsprechende Prompts zu entwerfen. Zum anderen haben wir gesehen, dass das, was Qualität auszeichnet, ob Qualität relevant ist und was hinreichende Qualität ist, vom Anwendungsgebiet abhängt. Die Chancen, die sich aus dieser Technologie ergeben, scheinen enorm.

Gleichwohl werden LLMs, wie vorher andere Techniken der KI, derzeit gehyped. Die mediale Aufmerksamkeit changiert zwischen «kann alles und muss eingehegt werden» bis zu «letztlich lebensbedrohend». Beides ist übertrieben. ChatGPT ist ein Werkzeug wie andere, ein mächtiges Werkzeug. Viele, den Verfasser eingeschlossen, sind der Ansicht, dass ChatGPT und verwandte Technologien viele Lebensbereiche massiv beeinflussen werden. Wie genau dieser Einfluss aussieht und wo er endet, kann heute niemand sagen – zumal viele technische Schwächen in neueren Sprachmodellen behoben werden.

Assistenzsysteme wie ChatGPT werden diverse Tätigkeiten vom Schaffen hin zum Überprüfen verschieben. Nicht immer ist ausgemacht, dass das entsprechende Vorteile in Effektivität oder Effizienz bringt; das lernen wir gerade durch Ausprobieren. Es ist aber

offenkundig, dass durch ChatGPT viele Aktivitäten enorm beschleunigt oder vereinfacht werden, vor allem dann, wenn ein objektivierter Qualitätsbegriff schwierig zu fassen oder gar nicht notwendig ist. In jedem Fall ergibt sich für uns, dass wir das kritische Reflektieren noch stärker in den Vordergrund stellen müssen. In der Ausbildung ist denkbar, dass kritische Reflexion ohne Beherrschung des zugrundeliegenden Handwerks nicht denkbar ist, wie wir im Fall der Ausbildung von Informatikern argumentiert haben.

Interessant erscheint uns die Debatte um ChatGPT, weil sie sich wie im Fall von Blockchains oder allgemeiner KI um Technik dreht, um eine Infrastruktur also, und nicht um Anwendungen – so wie sich häufig die Debatte um Digitalisierung um das abstrakte Phänomen dreht und nicht konkrete Anwendungen, konkrete Vorteile und konkrete Nachteile. Vielleicht erklärt diese Diskussion im Technisch-Abstrakten auch die bemerkenswerte Polarisierung der Debatte, weil gewissermaßen gleichzeitig über alle Anwendungen gesprochen wird.

Was genau generative KI im Einzelfall können wird und wie das unser Leben verändert, vermag niemand heute zu sagen. Es liegt an uns selbst, uns ein Bild zu machen, die Technologie zu verwenden und ihren Einsatz zu reflektieren.

---

[i] https://chat.openai.com/auth/login

[ii] Beispielsweise https://www.cnbc.com/2018/03/13/elon-musk-at-sxsw-a-i-is-more-dangerous-than-nuclear-weapons.html und https://www.nytimes.com/2023/07/25/opinion/karp-palantir-artificial-intelligence.html.

[iii] https://www.kaggle.com/c/deepfake-detection-challenge

[iv] Einführungen in das Prompt Engineering finden sich etwa bei https://learnprompting.org/, https://www.neatprompts.com/, https://flowgpt.com/ und https://snackprompt.com/.

[v] In Singapur wurden 90‘000 Bedienstete des öffentlichen Dienst in der Anwendung von ChatGPT ausgebildet, https://mothership.sg/2023/02/singapore-civil-service-chatgpt/; in Baden-Württemberg wird die Textassistenz F13 erprobt, https://stm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/meldung/pid/kuenstliche-intelligenz-in-der-verwaltung.

[vi] S. etwa https://www.scientific-economics.com/chatgpt-zusammenfassung-schreiben-lassen/. Der Verfasser dieses Textes ist von der Qualität der von ChatGPT erstellten Zusammenfassungen nicht immer überzeugt.

[vii] Es gibt ein berühmtes Beispiel aus den USA, in dem eine Klageschrift auf sechs andere Fälle verweist, die allesamt nicht existieren: https://arstechnica.com/tech-policy/2023/05/lawyer-cited-6-fake-cases-made-up-by-chatgpt-judge-calls-it-unprecedented/.

[viii] https://www.br.de/nachrichten/netzwelt/chatgpt-ki-besteht-bayerisches-abitur-mit-bravour,TfB3QBw

[ix] https://www.businessinsider.com/list-here-are-the-exams-chatgpt-has-passed-so-far-2023-1#the-sat-3; zur Kritik an Benchmarks s. etwa https://aisnakeoil.substack.com/p/gpt-4-and-professional-benchmarks

[x] https://medium.com/@soltrinox/the-i-q-of-gpt4-is-124-approx-2a29b7e5821e

[xi] Eine nicht zu technische Einführung in die Technik hinter GPT findet sich bei https://writings.stephenwolfram.com/2023/02/what-is-chatgpt-doing-and-why-does-it-work/.

[xii] Eine Einführung in das Wesen algorithmischer Programme und dem Unterschied zum Maschinenlernen findet sich bei https://www.bidt.digital/was-ist-software/.

[xiii] ChatGPT basiert auf einem Sprachmodell der Firma OpenAI. Es gibt zahlreiche andere Modelle, wie etwa bei https://github.com/Mooler0410/LLMsPracticalGuide/blob/main/imgs/qr_version.jpg dargestellt.

[xiv] https://www.midjourney.com/home/, https://github.com/features/copilot; https://www.bing.com

[xv] Eine Einführung in das Training von ChatGPT findet sich bei https://build.microsoft.com/en-US/sessions/db3f4859-cd30-4445-a0cd-553c3304f8e2.

[xvi] https://theconversation.com/what-are-hollywood-actors-and-writers-afraid-of-a-cinema-scholar-explains-how-ai-is-upending-the-movie-and-tv-business-210360

[xvii] https://www.faz.net/pro/d-economy/chatgpt-und-ki-die-maechtigen-neuen-assistenzsysteme-18587321.html

[xviii] https://www.faz.net/pro/d-economy/endlich-neue-pruefungen-dank-chatgpt-18760199.html

[xix] S. etwa http://www.rechtzweinull.de/chatgpt-co-urheberrecht-bei-werken-der-kuenstlichen-intelligenz-ki-2/

[xx] https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2023/09/07/copilot-copyright-commitment-ai-legal-concerns/

[xxi] Z.B. https://fast-ai-movies.de/

[xxii] Eine Übersicht findet sich bei https://arxiv.org/abs/2310.03533.

[xxiii] https://github.blog/2022-09-07-research-quantifying-github-copilots-impact-on-developer-productivity-and-happiness/

[xxiv] https://www.forbes.com/sites/emmawoollacott/2023/08/17/chatgpt-has-liberal-bias-say-researchers/

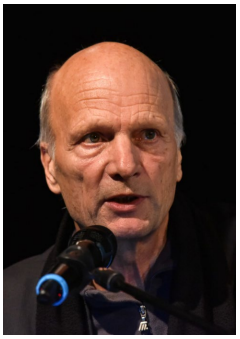
Freitag, 1. Dezember 2023

Block A

Exponierte Ingenieurbauwerke

Fahrradparkhaus Eberswalde

Michael Staffa
ifb frohloff staffa kühl ecker
Berlin, Deutschland



2 Fahrradparkhaus Eberswalde | M. Staffa

Fahrradparkhaus Eberswalde

1. Vorbemerkung

Die Stadt Eberswalde nordöstlich von Berlin erhält in direkter Nähe zum Bahnhof ein überdachtes zweigeschossiges Fahrradparkhaus. Das Parkhaus wird im Zuge des Mobilitätskonzepts der Stadt errichtet; gleichzeitig sollten bei der Planung des Gebäudes Nachhaltigkeitsgrundsätze berücksichtigt werden. Das Fahrradparkhaus wird daher im Wesentlichen in Holzbauweise geplant. Rautenförmig angeordnete Fassadenstreben geben dem Projekt einen prägnanten Widererkennungswert. Zusätzlich erhält das Gebäude ein Gründach und eine Photovoltaikanlage zur Eigenstromversorgung.

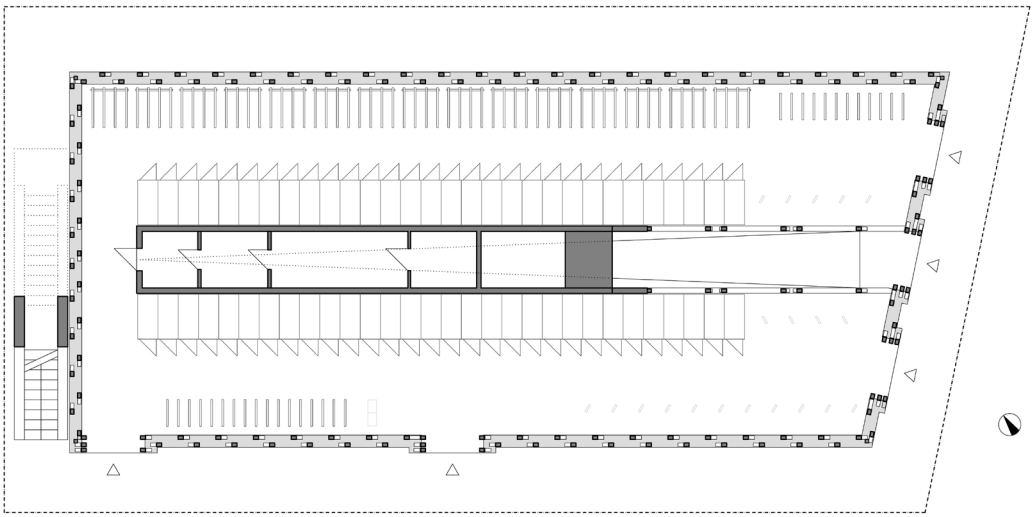


Abbildung 1: Grundriss EG (Leitplan GmbH)

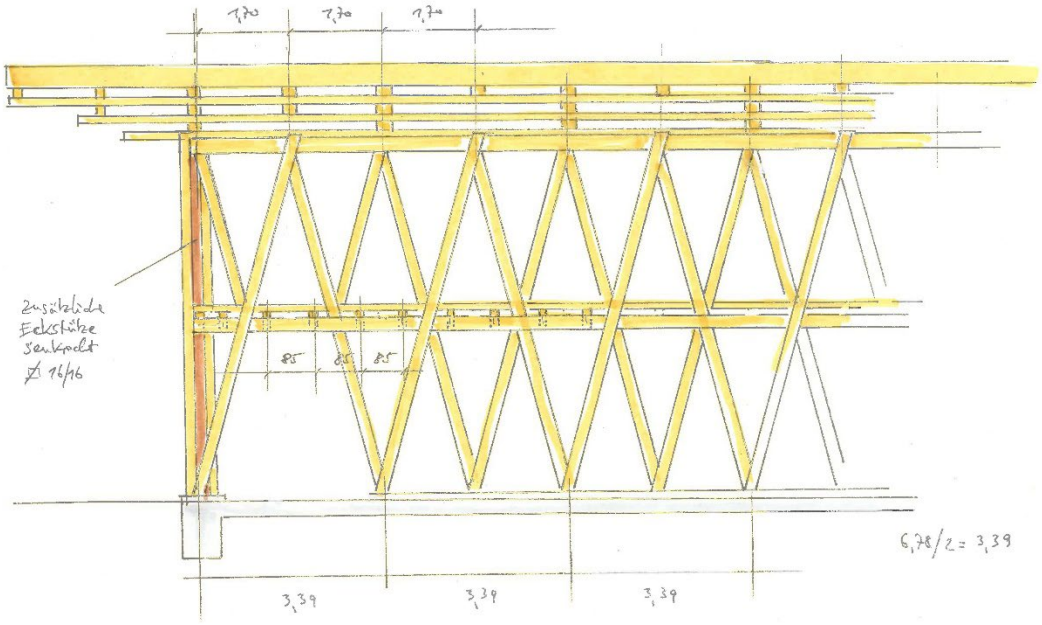


Abbildung 2: Handskizze Fassadenkonstruktion (ifb)

Für insgesamt ca. 600 Fahrräder stehen Fahrradboxen, Fahrradbügel, Doppelstockparker, Stellplätze für Lastenfahrräder und ein Werkzeugbereich zur Verfügung.
Das Gebäude ist ca. 40m lang, 17m breit und nicht unterkellert. Mittig im Gebäude verläuft in Längsrichtung eine Fahrradrampe als Zufahrt zum Obergeschoss. Auf der Westseite wird als zweiter Zugang eine Stahlbeton-Fertigteiltreppe angeordnet.

Dachkonstruktion
Die Dachkonstruktion ist ein Balkenstapelrost mit einem Rastermaß von 1,70m. Bei einem Balkenstapelrost werden Balken (GL24h 22/16) kreuzweise gestapelt. Die offenen Bereiche zwischen den Balken werden dort, wo es statisch erforderlich ist, mit Futterhölzern (GL24h 18/16) zur Schubübertragung geschlossen. Die Verbindungen erfolgen mit kreuzweise angeordneten Vollgewindeschauben.

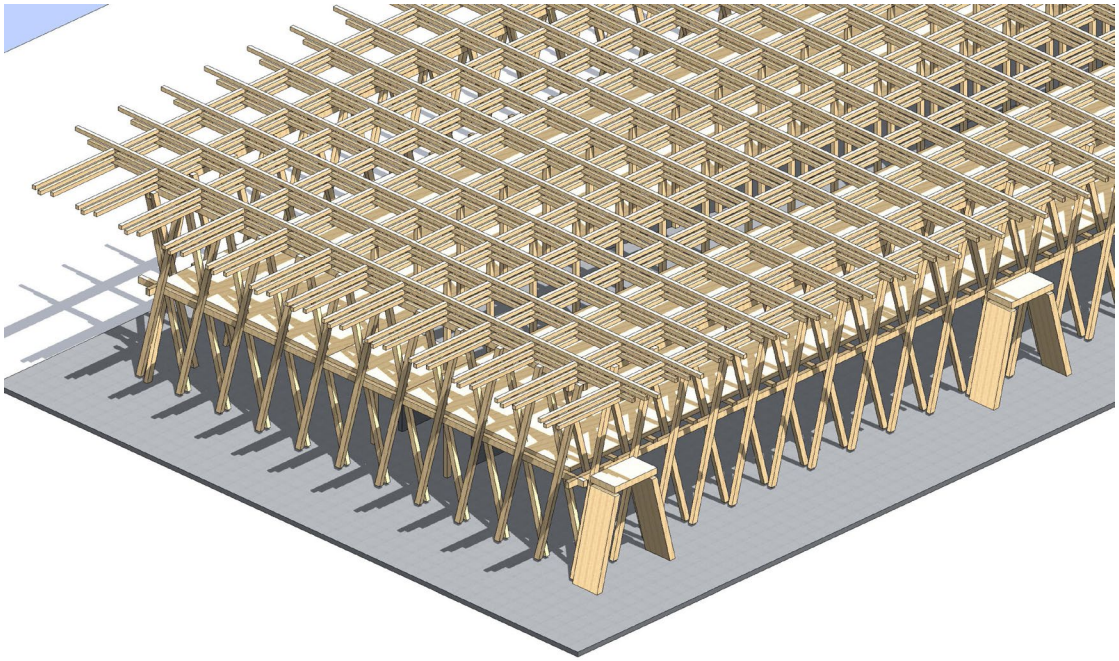


Abbildung 3: 3D-Modell (Leitplan GmbH)

An den Gebäudeecken kragt das Gebäude in beide Richtungen 3,26m aus und trägt an diesen Stellen und in den angrenzenden Bereichen als Trägerrost. In Gebäudemitte ist ein Rost nicht notwendig und das Dach spannt dort linear in Querrichtung. Auch diese linearen Träger werden aus gestapelten Balken zusammengesetzt, so dass das Tragwerk insgesamt eine einheitliche Anmutung erhält.
Die Deckung besteht aus einer BFU-Platte d=39mm mit Dichtung und extensivem Gründach. Die Dachkonstruktion wird in Längs- und Querrichtung als aussteifende Scheibe ausgebildet.

Decke über EG
Die Geschossdecke besteht ebenso aus BFU-Platten d=39mm, die auf BSH-Unterzügen (16/32 BSH GL24c) aufliegen. Es wird der Schwingungsnachweis für Geschossdecken mit f_{grenz}=8 Hz geführt (Klasse I). Auf der BFU-Platte wird ein Asphaltbelag auf einer Bitumendichtung aufgebracht.

Fassade
Die tragende Fassade wird allseitig aus rautenförmig angeordneten Streben (16/22 BSH GL24h) gebildet. Die Stützen kreuzen sich in Ebene der Dachdecke und in Ebene der Decke über EG. Weiterhin werden beidseitig der Rampe Rautenstreben angeordnet, so dass in Gebäudelängsrichtung vier statisch tragende Achsen entstehen. Die Rautenstützen der Fassade werden bei Ein- und Ausfahrtöffnungen unterbrochen und bilden dort Sprengwerke. Die Anschlüsse der Unterzüge an die Rautenstützen erfolgen mit Ringkeildübeln und Passbolzen, die Anschlüsse der Fußpunkte über Schlitzbleche, Passbolzen und angeschweißte Fußplatten.
Die Fassade wird mit Stahlseilnetzen als Absturzsicherung und gegen Vogelflug geschlossen.



Abbildung 4: Foto Bauzustand (Leitplan GmbH)

Brandschutz
Das Gebäude wird gemäß Brandschutzkonzept in die Feuerwiderstandsklasse R30 eingeordnet. Der Nachweis erfolgt über den Abbrand der tragenden Bauteile.

Aussteifung
Die Horizontallasten aus Wind werden über die Fassadenstützen abgetragen. Sie bilden gegenüber der Windlast die Horizontallager für die Dach- und Deckenscheibe. In Gebäudelängsrichtung werden zusätzlich die Rautenstreben der Rampe und die darunter angeordneten Stahlbetonwände aktiviert.

Holzschutz
Sämtliche Holzbauteile wurden als BSH-Lärchenholz (Lä si) ausgeführt. Die Hölzer wurden unbehandelt verbaut. Der konstruktive Holzschutz erfolgte durch den großen Dachüberstand. Die aufgehenden Rautenstützen der Fassade wurden gegen Spritzwasser auf erhöhten Stahlbetonsockeln mit Schlitzblechen aus rostfreiem Stahl montiert.

Gründung
Die Gründung erfolgte auf Streifenfundamenten, so dass die Nutzfläche im EG kostengünstig gepflastert werden konnte. Lediglich der Haustechnikraum unter der Rampe erhält eine Stahlbeton-Plattengründung.

Berechnung der Dachkonstruktion
Die Berechnung solcher Balkenstapel-Konstruktionen mit schubweichen Verbindungen ist extrem aufwändig. Der Berechnungsaufwand dieser Schubweichheit wurde durch vorlaufende Modellrechnungen an einem vereinfachten Vergleichssystem auf einen vertretbaren Aufwand reduziert.
Insgesamt wurden die signifikanten Teilroste mit Tragwerksmodellen jeweils 5 unterschiedlicher Steifigkeiten nach EC5 berechnet. Der Berechnungsgang mit der vorgeschalteten Modellrechnung wurde im Vorfeld mit dem Prüfingenieur abgestimmt.

Die alternative Fertigungsart des Balkenstapelrosts durch pressfreie Verklebung der Hölzer mit Epoxidharz statt der schubweichen Verbindung mit Vollgewindeschrauben wurde als Option ausgeschrieben, jedoch von den Firmen nicht angeboten. Der statische Nachweis des Balkenstapelrosts bei schubsteifer Verklebung der einzelnen Gurte ist deutlich einfacher zu führen als der Anschluss mit schubweichen Verbindungsmitteln. Der Nachweis wurde im Vorfeld geführt und ergab etwas geringere Holzquerschnitte.



Abbildung 5: Nachtfoto (Michael O'Ryan)

Das Fahrradparkhaus ist nun seit 2022 in Betrieb, beteiligt sich damit an der Verkehrswende der Stadt Eberswalde und hat bereits einige Preise gewonnen, wie z.B. eine Auszeichnung zum Deutschen Ingenieurbaupreis 2022.

2. Baubeteiligte

Bauherr	Baudezernat, Stadt Eberswalde
Architekt	Leitplan GmbH, Berlin
Tragwerksplanung	**ifb** frohloff staffa kühl ecker, Berlin
Prüfingenieur	Prof. Dr.-Ing Wolfgang Rug, Wittenberge
Baugrundgutachten	WILAB GmbH, Eberswalde
Vermessung	Rainer Mallon, Eberswalde
Elektroplanung	IFE Ingenieurbüro, Brandenburg an der Havel
Zimmerei	Thielke, Luckau
Werkplanung Holzbau	Holzbauservice Bohn, Datteln
Stahlbeton-Fertigteile	Thomas Betonbauteile, Luckau
Stahlbau	FFinnovation Frank Fladda, Golßen
Stahlseilnetz	Carl Stahl
Projektadresse	Bahnhofsring, 16225 Eberswalde

3. Veröffentlichungen

Bauwelt 5/2022	«Massiv gekreuzt»	Josepha Landes
Bauen mit Holz 3/2022	«Bike.and.Ride in der Waldstadt»	Marc Wilhelm Lennartz
Ingenium 12/2022	«Balken kunstvoll gestapelt»	Bärbel Reichenbach
Holzbau 6/2023	«Fahrradparkhaus mit Holztragwerk»	Christina Vogt

Parkhaus Schwanenweg Wendlingen

Juliane Deubel
knippershelbig
Stuttgart, Deutschland



Parkhaus Schwanenweg Wendlingen

1. Einleitung

Die Stadt Wendlingen am Neckar im Landkreis Esslingen hat 2020 einen Architekturwettbewerb für den Neubau eines Parkhauses im Schwanenweg ausgelobt. Der Neubau wurde erforderlich durch den Verkauf des Grundstückes «Behr-Parkplatz». Als Gewinner des Wettbewerbs hat sich das Stuttgarter Architektur Büro herrmann+bosch durchgesetzt.

Das Parkhaus befindet sich in unmittelbarer Nähe zum Bahnhof am Ortseingang der Stadt Wendlingen und fungiert als Blickfang und Auftakt zur Stadt. Der Bahnhof Wendlingen ist an das Nahverkehrsnetz der Stadt Stuttgart angeschlossen, somit fördert das Parkhaus eine umweltfreundliche Mobilität und erfüllt eine wichtige Park&Ride Funktion, um den Verkehr zu entlasten.

Nordseitig des Gebäudes befindet sich ein historisches Ensemble aus denkmalgeschützten Industriegebäuden, bestehend aus einem Wasserturbinenhaus aus dem Jahre 1886, einer Weberei und einem Kesselhaus. In einem Entwicklungsvorhaben soll hier zukünftig ein urbanes Quartier mit einer Mischbebauung aus Wohnen und Gewerbe entstehen.
Für dieses Vorhaben wurde die Forderung gestellt, dass das Parkhaus Schwanenweg als eine 18m hohe Lärmschutzwand agieren soll, so dass die Geräusch-Emissionen von der angrenzenden Bahntrasse und der Straßenbrücke abschirmt werden können.



Abbildung 1: Visualisierung Parkhaus © herrmann+bosch Architekten

2. Entwurf

Intention des Entwurfs war, ein ästhetisches Parkhaus in nachhaltiger Bauweise zu errichten. Für das Parkhaus wurden insgesamt 2.400m³ Holz verbaut. Es wurde als sortenreine Konstruktion ohne die Verwendung von Verbundmaterialien entwickelt. Die Verbindungen wurden alle gesteckt oder geschraubt ausgeführt, so dass das Parkhaus leicht wieder auseinandergebaut und an einem anderen Ort wieder aufgestellt werden kann. Somit dient die Holzkonstruktion als ein Materiallager der Zukunft.

Um eine Nachnutzung des Gebäudes zu gewährleistet, wurden die Geschosshöhen mit einer lichten Höhe von 2,35m, anstatt wie bei einem konventionellen Parkhaus, mit einer lichten Höhe von 2,1m geplant. Höhe und Stützenfreiheit ermöglichen einen einfachen Umbau des Parkhauses in eine Wohn- oder Gewerbenutzung mit einem natürlich belichteten Innenhof anstelle der mittig angesiedelten Fahrrampen.

Das Parkhaus wurde als offene Großgarage in Holzbauweise geplant. Das Dach erhält eine extensive Dachbegründung und eine PV-Anlage mit der die Elektroladesäulen gespeist werden können. Nordseitig ist das Parkhaus mit einer Schallschutzfassade aus Profilglas geschlossen um seiner Funktion als Lärmschutzwand gerecht zu werden. Südseitig ist das Parkhaus mit einer Fassadenbegrünung mit Edelstahl-Ranknetzen versehen. Um eine Querlüftung zu gewährleisten, bleibt die Fassadenfläche an der West- und Ostseite geöffnet.

Bei dem Parkhaus Wendlingen handelt es sich um das derzeit größte Holzparkhaus Deutschlands. Das Parkhaus wurde als Projekt für die IBA 2027 der Stadtregion Stuttgart ausgewählt.

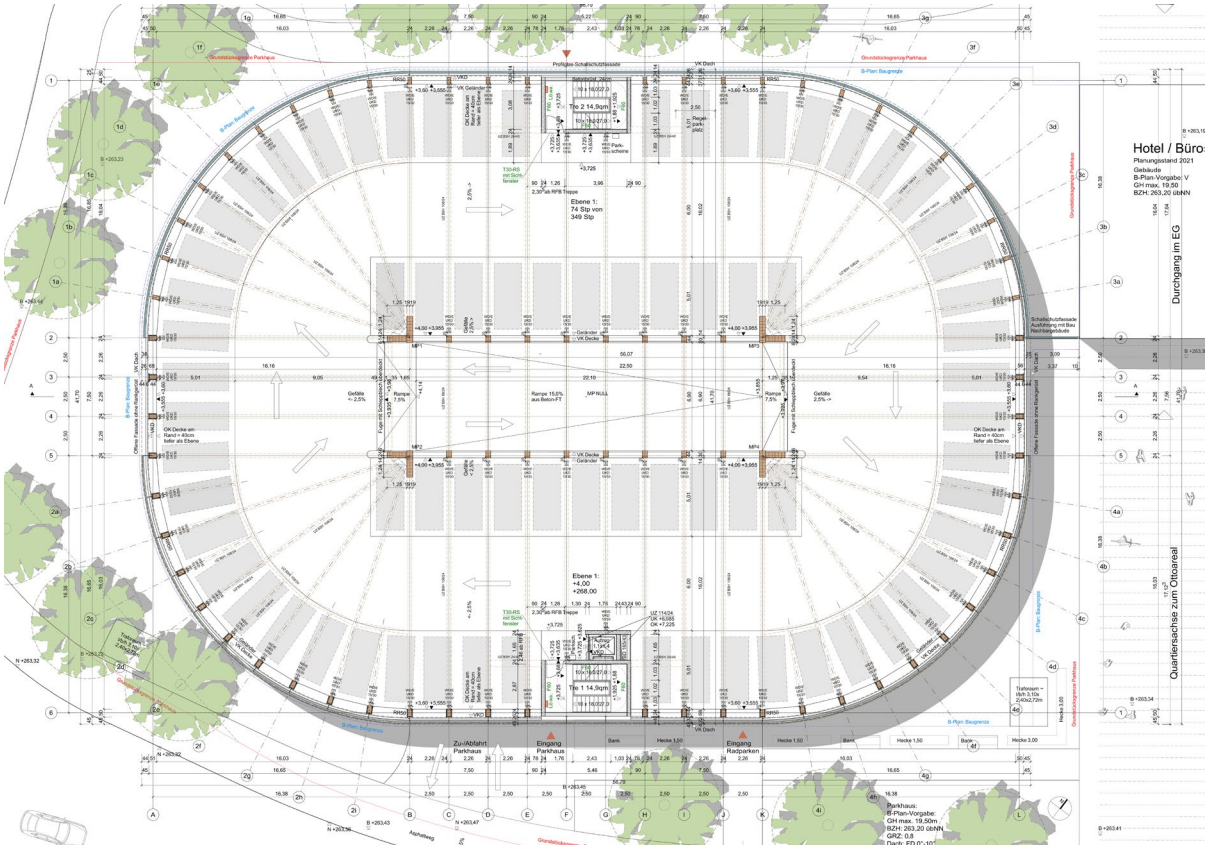


Abbildung 2: Grundriss Parkhaus © herrmann+bosch Architekten

3. Konstruktion

Das 5-geschossige Parkhaus mit Außenabmessungen von ca. 57 x 42m auf einer Gesamtfläche von 3320m² bietet Platz für ca. 350 PKW-Stellplätze, 100 Fahrradstellplätze, 56 Radboxen und zehn E-Bike Ladestationen.

Angelehnt an gängige Parkhaussysteme aus Stahl, wurde ein modulares System für die Konstruktion, mit einem großen Vorfertigungsgrad gewählt. Die Grundkonstruktion ist mit Stützen und Trägern aus Brettschichtholz (BSH) und aufliegenden 12cm starken Decken aus Brettsperrholz (BSP) ausgeführt. Die direkt bewitterten Außenstützen werden mit einer hinterlüfteten Verkleidung aus Lärchenholz geschützt.

Um den heutigen Anforderungen an Fahrkomfort, Sicherheit und freie Anordnung der Stellplätze gerecht zu werden, wurden stützenfreie Stellplätze vorgesehen. Ausgehend von der Festlegung der Stellplätze von 2,50 x 5,00m und einer Fahrbahnbreite von 6,00m, ergibt sich eine freie Spannweite von 16m. Die Trägerhöhe der BSH-Träger beträgt 108cm.

Die Tragstruktur besteht zum größten Teil aus Massivholz. Eine Ausnahme bilden die Treppenhauskerne, die Betonfertigteilrampen und die Gründung aus Beton. Die Holzbauteile werden über im Rohbau vorgesehene Aussparungen über nachträglichen Verguss an den Rohbau angeschlossen, um einen möglichst großen Toleranzausgleich zu gewährleisten.



Abbildung 3: Anschluss BSH Träger an den Stahlbetonkern

Die Aussteifung erfolgt über die beiden Treppenhaustürme, die in die Bodenplatte eingespannt sind. Somit entsteht für die Horizontalaussteifung ein klares System ohne weitere Verbände oder sonstige Aussteifungselemente. Die Unterzüge sind mit Sherpa-Steckverbindern unsichtbar an den Stützen befestigt. Die Bauteile konnten somit schnell montiert und einfach wieder gelöst werden.



Abbildung 4: Innenansicht Parkhaus

Eine Besonderheit sind die vier massiven L-Stützen in den Ecken der Rampenöffnung, bei denen jeweils sechs Träger an einem Punkt zusammenlaufen. Die L-Stützen wurden drei-geschossig vorgefertigt und mithilfe einer Montagevorrichtung aufgerichtet.



Abbildung 5: Montage einer drei-geschossigen L-Stütze

Zum Abfangen der Träger wurde ein Konsolträger aus BauBuche vorgesehen.

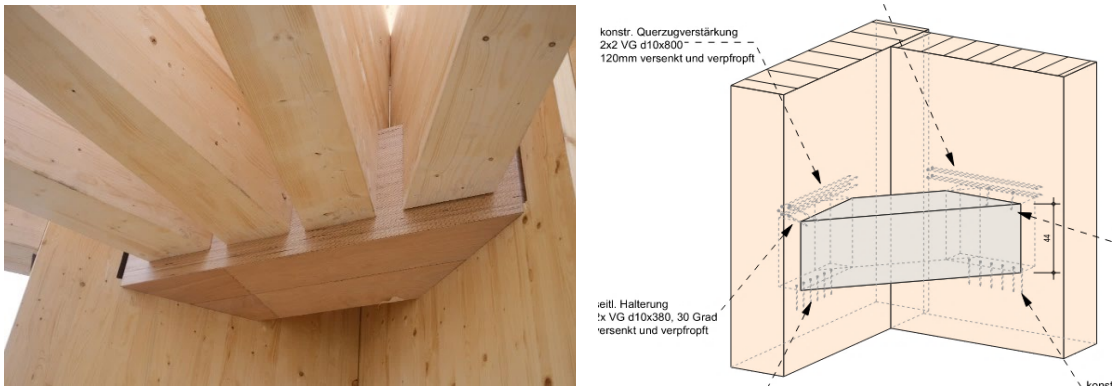


Abbildung 6: Konsolträger aus BauBuche

4. Brandschutz

Das Parkhaus wird genehmigungsrechtlich als offene Großgarage eingestuft, dies setzt die Feuerwiderstandsklasse F30 und die Verwendung von nichtbrennbaren Materialen voraus. Die Vorschrift «Verwendung von nichtbrennbaren Materialen» konnte, aufgrund des Baustoffes Holz, nicht eingehalten werden, deshalb wurden Brandsimulationsversuche durchgeführt. Die Ergebnisse der Brandsimulationsversuche haben zu einer Feuerwiderstandsklasse von F60 geführt. Die Treppentürme wurden daraufhin in Massivhausweise ausgeführt. Der Brandschutz des Holztragwerks wird über die Abbrandrate sichergestellt, so dass nach dem Brandereignis der verbleibende Restquerschnitt im Brandfall tragfähig bleibt. Die gesamte Holzkonstruktion verbleibt sichtbar.

5. Life Cycle Assessment (LCA)

Für das Projekt wurde eine Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040/44 durchgeführt. Für das Parkhaus Wendlingen ergibt sich ein Wert von 72 kg CO2–eq/m² unter Berücksichtigung von Herstellung A1-A4 und Entsorgung C3 und C4. Im Vergleich mit den Grenzwerten aus dem Gelbdruck der neuen DAfStb Richtlinie «Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton» können mit dem Parkhaus schon jetzt die Grenzwerte für Nichtwohngebäude im Jahr 2040 unterschritten werden.

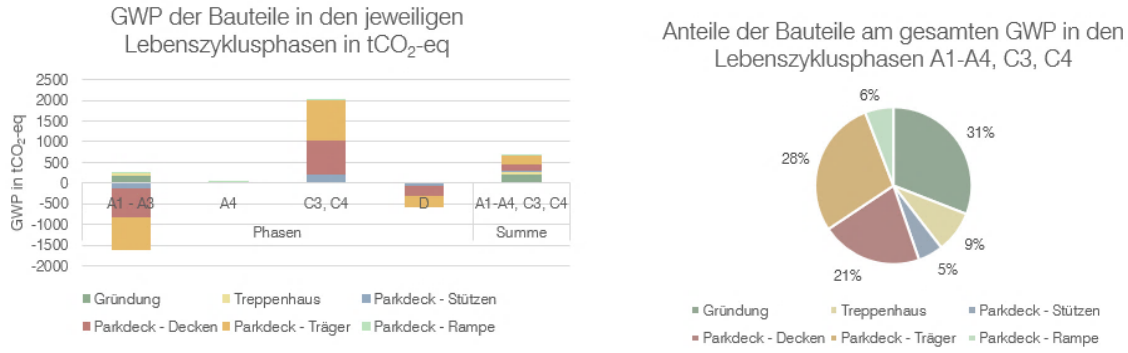


Abbildung 7: Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040/44

6. Montage

Der Spatenstich für den Rohbau hat am 19.01.2023 stattgefunden. Der Rohbau besteht aus den Streifenfundamenten, den Bodenplatten für die Treppenhaustürme sowie den beiden aussteifenden Kernen. Montagebeginn der Holzbaukonstruktion war Mitte Juli 2023. Das Richtfest konnte nach nur 3,5 Monate Bauzeit gefeiert werden.

Insgesamt werden ca. 100 LKW-Lieferungen mit Holzelementen auf die Baustelle geliefert, teilweise wurden 2 LKW-Lieferungen pro Tag verbaut. Ein Kreissegment des Parkhauses wurde montagebedingt freigelassen, um die Anlieferung zur vereinfachen und den Kran sinnvoll zu platzieren. Fertigstellung und Inbetriebnahme ist für Anfang Mai 2024 geplant.



Abbildung 8: Montage des Parkhauses

7. Projektbeteiligte

Bauherr:	Stadt Wendlingen am Necker
Architekt:	herrmann+bosch, Stuttgart
Tragwerksplanung:	knippershelbig, Stuttgart
Brandschutz:	Brandschutz+, Berlin
HLS-Planung:	H+H Planung GmbH, Uhingen
Rohbau:	Brodbeck, Metzingen
Holzbau:	Pletschacher, Dasing
Holzbau Montage:	dieholzbox, Gyhum-Hesedorf

Parkhaus Bad Aibling – Mehrwert mit Holz

Matthias Eisele
merz kley partner
Dornbirn, Österreich



Parkhaus Bad Aibling – Mehrwert mit Holz

1. Umfeld

Auch in der Mobilitätswende werden neue Parkgebäude gebraucht. Überall wo Grundstückspreise hoch und/ oder Platzverhältnisse begrenzt sind, sprießen neue Hochgaragen aus dem Boden. Weitgehend werden Hochgaragen als Systembauten von wenigen Anbietern errichtet. Übliche Konstruktionsmaterialien sind Stahl und Beton – häufig auch im Verbund. Parkbauten sind meist reine Zweckbauten. Einen gestalterischen Anspruch an ihre Objekte haben die Investoren – leider – nur selten. Und wenn, ist dieser häufig nur vordergründig oder flüchtig vorhanden. Nennenswerte Mehrkosten für Gestaltung in Kauf zu nehmen sind nur wenige Bauherren bereit. Gleiches gilt noch immer, wenn es um Nachhaltigkeit geht. Zumindest was die Nachhaltigkeit angeht, steigt jedoch seit geraumer Zeit der gesellschaftliche Druck. Als nachhaltig geltende Gebäude stoßen gemeinhin auf mehr Zustimmung als Gebäude, welchen keine Nachhaltigkeit zugeschrieben wird. Zu wesentlichen Teilen aus Holz bestehende Gebäude lassen sich recht gut mit Verweis auf Nachhaltigkeits-Labels vermarkten.

2. Projekt

Das Parkhaus ist Teil einer innovativen Quartiersentwicklung des Wohnungsbauunternehmens B&O auf einem ehemaligen Stützpunkt der US-Armee und dient den Bewohnern als Abstellfläche für ihre Kfz. Zurückhaltend fügt sich das Gebäude mit seiner Holzfassade am Rand einer Grünfläche in die Landschaft mit altem Baumbestand ein. Die Parkgarage stellt insgesamt einen Motorrad- und 103 PKW- Stellplätze zur Verfügung.



Abbildung 1: Ansicht aus Südwest

3. Fast alles aus Holz

Die Konstruktion ist nahezu vollständig aus Holz gebaut. Die Hauptträger liegen in einem Abstand von 2,60 m und spannen ohne Zwischenabstützung über die 16,5 m der beidseitigen Stellplatztiefe plus die Fahrgassenbreite. Die Deckenfläche wird von einer 100 mm dicken Brettsperrholzplatte gebildet, welche mit einer Bitumenbahn abgedichtet und. Eine 5 cm dicke Gussasphaltschicht bildet den Fahrbahnbelag. Die nicht gedeckte Rampe wurde aus Stahlbeton hergestellt, ebenfalls bituminös abgedichtet und mit Gussasphalt belegt.



Abbildung 2: Einfahrtsrampe aus Stahlbeton

Die Hauptträger der Zwischendecke sind aus BauBuche, die Dachträger sowie die Stützen in EG und OG aus herkömmlichen Brettschichtholz. Für die Hauptträger der Zwischendecke wurde BauBuche gewählt, weil dadurch die Bauhöhe um die entscheidenden Zentimeter reduziert und damit die Fluchtniveauhöhe von 3 m i. M. über dem Gelände eingehalten werden konnte. Ausgesteift wird das Parkhaus von vier innenliegenden Wandscheiben aus Brettsperrholz und insgesamt acht Stahlauskreuzungen in den bewitterten Außenachsen. Die Stützen stehen auf Fundamenten aus Stahlbetonfertigteilen. Der Boden auf Geländeniveau ist ein Pflasterbelag.
Sofern das Gebäude für eine eventuelle Nachnutzung eine geeignete Setzung und Größe hat, kann die Konstruktion mit wenigen Massnahmen zum Tragwerk für z.B. Wohn- oder Büronutzung ertüchtigt werden (Refuse). Andernfalls kann die Konstruktion weitgehend zerstörungsfrei (abgesehen vom Gussasphalt und der stellenweise der Abdichtung) rückgebaut und an anderer Stelle wiederaufgebaut werden (Reuse). Die Konstruktion ist mit einfachen Verbindungen gefügt.

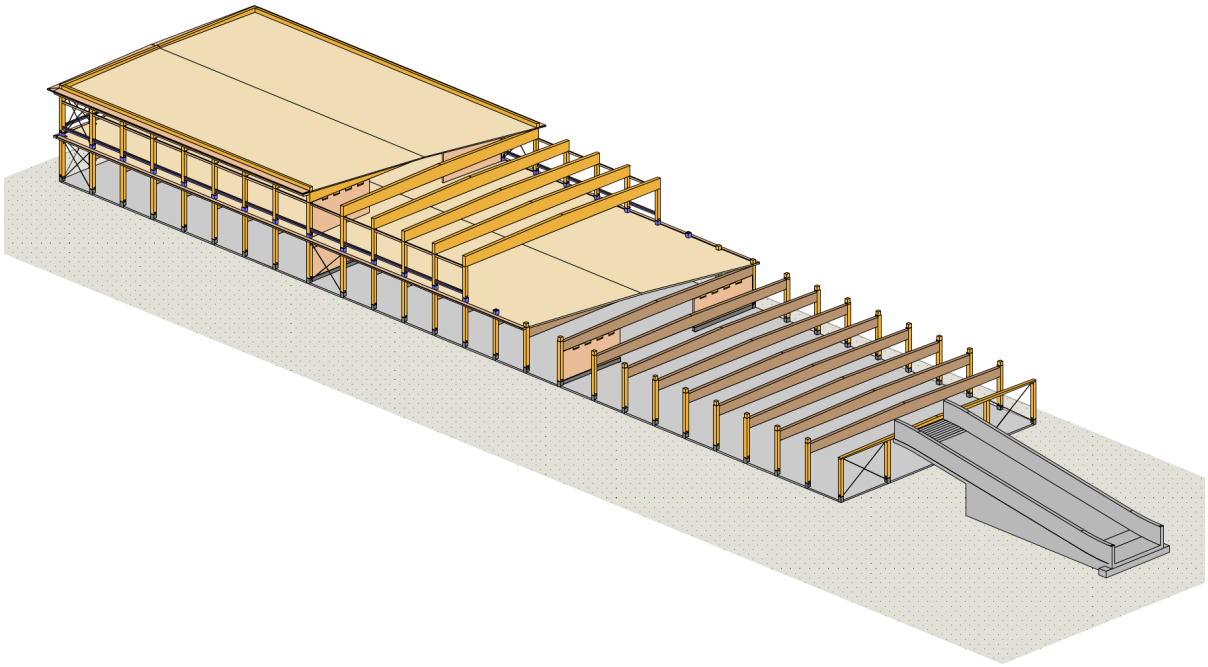


Abbildung 3: Axonometrie der Tragkonstruktion

4. Holz und Feuer

Gemäss BayBo handelt es sich beim Parkhaus um ein Gebäude der Gebäudeklasse GK3. Als Parkgarage ist das Gebäude nach Garagenstellplatzverordnung zu planen. Nach GaStellV ist das Parkhaus aufgrund der Nutzfläche eine Großgarage. In dieser Verordnung sind allerdings Garagen aus Holz nicht geregelt. Der projektbezogene Brandschutznachweis zur Erreichung des Schutzzieles wurde von FIRE & TIMBER.Ing erstellt.
Der erste Rettungsweg wird über den Fußweg auf der Rampe sichergestellt. Um den 2. Rettungsweg mit einer außenliegenden, offenen Treppenanlage sicherstellen zu dürfen, musste das Fluchtniveau unter 3 m über mittlerem Gelände liegen. Daher der Zwang zur Bauhöhenoptimierung bei der Zwischendeckenkonstruktion.
Um ausreichend Zeit für die Rettung von Menschen und einen wirksamen Löschangriff durchführen zu können, wurde die Konstruktion als Kompensation für die Nichtbrennbarkeit für einen Feuerwiderstand von mindestens 30 Minuten bis zum Tragwerksversagen ausgelegt. Da die Wärmeentwicklung bei Fahrzeugbränden nicht mit der ETK abbildbar ist, wurde das Temperatur x Zeit-Flächenäquivalent der Hydrocarbon-Kurve (welche für Untersuchungen von Tunnelbränden herangezogen wird) und der ETK ermittelt und zu einer Branddauer von 47 min bei der ETK ermittelt. Für diese Zeit wurde die hölzerne Haupttragkonstruktion bemessen. Die Stahlbauteile haben rechnerisch keine Brandwiderstandsdauer.
Die Öffnungen in den Fassaden ermöglichen die Abführung der Rauch- bzw. Heissgase. Aus demselben Grund sind die Öffnungen sturzfrei ausgeführt. Gegen die Ausbreitung der Gase im Gebäudeinneren dienen die Hauptträger und zusätzliche Schotts zwischen den Trägern am Übergang von Parkfläche zu Fahrgasse.

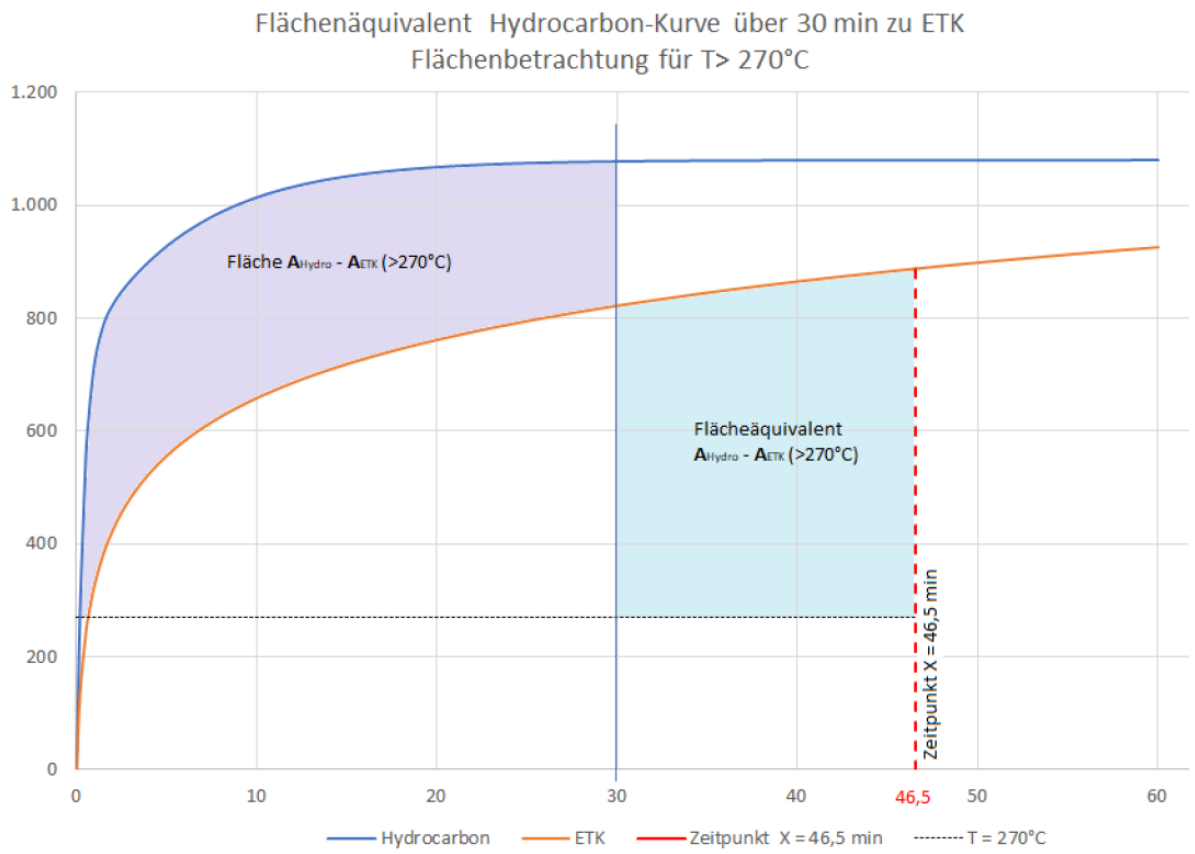


Abbildung 1: Darstellung Flächenäquivalent / Zeitpunkt X zur rechnerischen Ermittlung des Feuerwiderstandes

Abbildung 4: Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer nach FIRE & TIMBER.Ing

5. Holz verformt und quillt

Die Konstruktion ist erheblichen äußeren Einwirkungen ausgesetzt und reagiert darauf mit Verformungen. Auch wenn es nicht so scheint, die Struktur ist ständig in Bewegung. Diese Bewegungen sind in der Planung zu berücksichtigen, so dass Funktionalität und Dauerhaftigkeit jederzeit gewährleistet bleiben. Die Ursachen dieser Bewegungen sind vielfältig. Zunächst verformt sich die Struktur infolge von Lasten. Die Deckenträger mussten aufgrund der Zwänge in der Bauhöhe sehr schlank dimensioniert werden. Rechnerisch erreichen diese in der charakteristischen Lastkombination eine Verformung von 150 mm (also L/110!). Um diese starken Verformungen zur Gewährleistung von Durchfahrtshöhen und Gefälle für die Entwässerung auszugleichen, wurden die Träger für quasi-ständige Verformung plus Kriechen um 100 mm überhöht. Wandscheiben und Träger sind deshalb vertikal verschieblich, mit Schubknaggen, welche nur die Horizontallasten übertragen können, verbunden. Um zu verhindern, dass sich die Träger bei maximaler Verformung auf den Wandscheiben auflegen, wurden zusätzlich 50 mm Zwischenabstand eingeplant. Aktuell, 2 Jahre nach Fertigstellung, hat sich der Träger um 80 mm verformt, zwischen Wand und Träger sind noch 70 mm Abstand.



Abbildung 5: Aussteifende Wandscheiben aus Brettsperrholz

Ausserdem ist Holz ein natürlicher Baustoff und ein hygroskopisches Material. Das bedeutet, es reagiert auf Schwankungen in der Luftfeuchtigkeit. Das Parkhaus ist umlaufend offen und damit dauerhaft der Außenluft ausgesetzt. Damit ist die Konstruktion in Nutzungsklasse 2 nach DIN EN 1995-1-1 einzustufen und unterliegt zumindest saisonal erheblichen Feuchteschwankungen. BauBuche verlässt üblicherweise mit eine Holzfeuchte von ca. 6% das Werk. Für diese Einbausituation wurde für die BauBuche eine maximale Holzausgleichsfeuchte von 18% angenommen. Das bedeutet bei einer Trägerhöhe am Auflager von 600 m ein Quellmass von ca. 30 mm. Dass diese Abschätzung keinesfalls zu vorsichtig ist, zeigt eine Messung im Oktober 2023: die Trägerhöhe beträgt mit ca. 615 mm ziemlich genau den um das Differenzmass von 15 mm gequollenen Wert, den man für die gemessene Holzfeuchte von 12% in etwa auch rechnerisch ermitteln würde.



Abbildung 6: Messung der Trägerhöhe (ca. 615 mm)

Es muss davon ausgegangen werden, dass sich die Ausgleichsfeuchte dauerhaft zwischen 10% und 18% bewegt, das Quellen und Schwinden saisonal auftritt und die Anschlüsse deshalb dauerhaften Bewegungen unterworfen sind. Der Anschluss zwischen Decke und Stütze wurde so konstruiert, dass das Quell- und Schwindmass von ±15 mm von der

Konstruktion – und besonders wichtig – von der Abdichtung schadenfrei aufgenommen werden kann. So müssen sich die Oberkante des Hauptträgers, die Brettsperrholzplatte und die Abdichtung frei von der Stütze bewegen können und dürfen keine Verbindung zur Stütze haben.

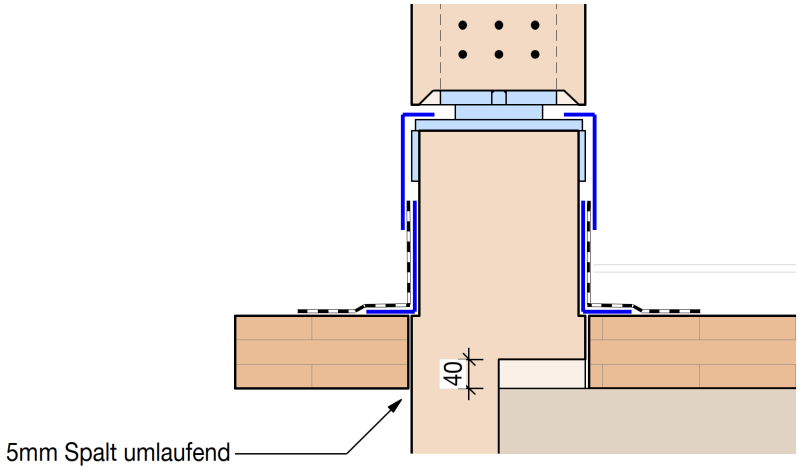


Abbildung 7: Detailschnitt Anschluss Stütze an Zwischendecke

Auf die Brettsperrholzplatte wird ein um die Stütze herumlaufender Blechkragen gestellt. An diesen Blechkragen wird die bituminöse Abdichtung hochgezogen. Über den Stahlhut auf dem Stützenkopf, der neben der vertikalen Lastdurchleitung die Funktion hat, Anpralllasten aus der OG-Stütze in den Kopf der EG-Stütze zu leiten, wird wiederum eine Blechhaube gestülpt. Blechhaube und Blechkragen übergreifen um ein paar Zentimeter, ohne mechanisch miteinander verbunden zu sein. Der Blechkragen ist an der Zwischendecke, die Blechhaube am Stützenkopf fixiert. Somit ist der Anschluss abgedichtet und lässt vertikale Bewegungen zwängungsfrei zu.



Abbildung 8: Abdichtung Stütze an Zwischendecke im Bauzustand

6. Holz und Wasser

Im Unterschied zu Gebäuden des üblichen Hochbaus, werden Parkhäuser, ähnlich Brücken, nicht nur durch Niederschlagswasser von aussen, sondern auch durch von Kfz eingeschlepptem Wasser beansprucht. Die Tragkonstruktion ist vor beidem sorgfältig zu schützen. Gemäss DIN 68800-1 ist die Konstruktion in Gebrauchsklasse GK2 einzustufen. Brettschichtholz aus Fi/Ta wäre für GK2 nicht geeignet. Mit besonderen baulichen Massnahmen nach DIN 68800-2 wird sichergestellt, dass die Beanspruchung der GK0 entspricht und konventionelles Brettschicht- bzw. Brettsperrholz aus Fi/Ta eingesetzt werden kann.

Vor beidem wurde die Konstruktion sehr sorgfältig geschützt. Folgende Massnahmen für den konstruktiven Holzschutz wurden ergriffen:

- Ausreichend Gefälle auf Dach- und Deckenebene, stehendes Wasser vermeiden
- Abdichtung der Dach- und Deckenebene, einfach und robust, mit umlaufenden und ausreichend hohen Hochzügen
- Gleitender, dauerhafter Anschluss der Zwischendecke an die Stütze
- Schutz Stützensockel im Obergeschoss (Abbildung 7)
- Betonsockel bei Stützen Erdgeschoss (Abbildung 9)
- Verkleidung der Holzstützen von außen mit überstehendem Opferbrett (Abbildung 9)
- Aussteifung in den Fassadenachsen mit Stahlkreuzen, anstatt mit Holz



Abbildung 9: Betonsockel EG und Opferbrett mit Überstand zum Schutz der Stütze

7. Wo ist der Mehrwert?

Dieses Gebäude ist mehr als nur eine Möglichkeit zum Parken von Fahrzeugen. Mit dem Gründach für die Retention, der PV-Anlage für die Erzeugung regenerativer Energie, ist die fünfte Fassadenfläche für eine klimafreundliche Nutzung optimiert. Den Fahrzeugen im obersten Geschoss bietet das Dach außerdem Schutz vor Hagel, Hitze im Sommer und Eis im Winter. Während der Nutzung ist die Konstruktion ein CO_2-Speicher. Danach gibt es zwei Nachnutzungs-Optionen: Umnutzung oder Umzug. Und nicht zuletzt ist das Parkhaus nicht nur ein reiner Zweckbau, das wie seine gesichtslosen Artgenossen ohne Rücksicht auf Umgebung zusammenhanglos irgendwo abgesetzt wurde, sondern ein Gebäude, das sich mit seiner sorgfältigen Gestaltung und Setzung sehr behutsam in seine Umgebung einfügt.

Factbox

Holzparkhaus B&O Park
Ebersberger Straße, Flurstück 268/152
D-83043 Bad Aibling

Bauherrschaft: B&O Parkgelände GmbH, D-Bad Aibling
Architektur: HK Architekten, Hermann Kaufmann + Partner ZT GmbH, A-Schwarzach
Bauingenieur Holz & Massiv: merz kley partner GmbH, A-Dornbirn
Brandschutznachweis: FIRE & TIMBER.ING GmbH, D-München

Der neue Eurocode 5-2 – Holzbrücken: Änderungen und Neuerungen

Matthias Gerold
Harrer Ingenieure Gesellschaft Beratender Ingenieure VBI mbH
Karlsruhe/Ostfildern/Baden-Baden, Deutschland



Der neue Eurocode 5-2 – Holzbrücken: Änderungen und Neuerungen

1. Einleitung

2004 wurden in der EU und einigen EFTA-Staaten einheitliche Bemessungsnormen eingeführt, die sogenannten EUROCODEs (EC). Ziel des Europäischen Komitees für Normung (Comité Européen de Normalisation / CEN) war es, die unterschiedlichen oder sogar fehlenden Bemessungsrichtlinien in den Mitgliedsstaaten durch ein gemeinsames technisches Regelwerk mit einheitlichem Sicherheitsniveau zu ersetzen und so Barrieren in Europa weiter zu reduzieren. Um die langfristige Anwendbarkeit der Eurocodes zu gewährleisten, erteilte die Europäische Kommission im Jahr 2012 ein Mandat für die Erarbeitung einer zweiten Generation, die die ständigen technischen Entwicklungen und den Wissenszuwachs miteinbezieht (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Europäische Bemessungsnormen – Eurocodes
Quelle: Europäische Kommission, 2021

Bei der Entwicklung der zweiten EC-Generation waren die Anforderungen und Empfehlungen des EC0 und EC1 (zwingend) zu berücksichtigen.
Für die Normenreihe EN 1995 «Eurocode 5 – Bemessung von Holzbauten» (*Design of timber structures*) erarbeiten Experten in Projektgruppen (Project Team / PT) Entwürfe zu bestimmten Themen des Holzbaus. Heute wird ihre Arbeit von zehn Arbeitsgruppen (Working Group / WG) weitergeführt, die bereits zuvor die thematische Entwicklung des EC5 in Zusammenarbeit und Abstimmung mit den nationalen Normungsgremien begleitet haben. Nach einer umfassenden Überarbeitung der gesamten EC5-Reihe werden ab dem Jahr 2027 neue Versionen davon für alle Mitgliedsstaaten zur Verfügung stehen.

Bei der Entwicklung der englischen Normtexte sind die Verbformen zu beachten:

- *shall* – deutsches «muss»: Anforderung (unbedingt zu befolgen) → bisher: (P) Prinzip
- *should* – «sollte»: Empfehlung (dringend empfohlen; alternativer Ansatz möglich, sofern technisch begründet)
- *may* – «darf»: möglich/zulässig im Rahmen der Eurocodes
- *can* – *«kann»*: Möglichkeit und Fähigkeit → nur in Anmerkungen (*NOTE*)

Seit der Einführung der Europäischen Bemessungsnormen vor rund 20 Jahren hat sich kaum ein Bereich auf der Produktebene so stark verändert wie der Holzbau. Dem Stand der Technik entsprechend wurde das Regelwerk daher für Werkstoffe wie Furnierschichtholz (LVL) und Laubolzprodukte erheblich erweitert und neue Materialien und Verbindungsmittel wie z.B. Brettsperrholz (CLT), verleimtes Furnierschichtholz (GLVL) und Vollgewindeschrauben sowie Bauweisen wie z.B. Holz-Beton-Verbund (TCC) eingeführt (siehe /1/ bis /7/). Diese Veränderungen der neuen prEN 1995-1-1 gelten grundsätzlich auch in der prEN 1995-2. Der EC5 wird wie folgt unterteilt:

- Teil 1-1 – Gemeinsame Regeln und Regeln für Gebäude
- Teil 1-2 – Tragwerksbemessung im Brandfall

Neu: Teil 1-3 – Holz-Beton-Verbund (en. «*Timber concrete composites*»);
z.Zt. noch CEN/TS 19103

- Teil 2 – Holzbrücken

Neu: Teil 3 – Ausführung (en. «*Execution*»)

Um die gleichzeitige Anwendung mehrerer Eurocodes zu erleichtern, sind die Überschriften der Hauptkapitel 1 bis 11 (bzw. 1 bis 5 bei Heißbemessung) in allen Material-Eurocodes jeweils identisch. Die Kapitel 2 (englisch «*Normative references*») und 3 (en. «*Terms, definitions, symbols and abbreviations*») wurden neu hinzugefügt.
Nachfolgend werden die wesentlichen Änderungen des EC5-2 Holzbrücken vorgestellt.

2. Unterschiede zur bisherigen Holzbaunorm

2.1. Dauerhaftigkeit, Robustheit, Nachhaltigkeit, Details

Eines der Hauptthemen bei der Erarbeitung der neuen Holzbrückennorm war die Umsetzung der Vorgaben der EN 1990:2022 und EN 1991-2, insbesondere die Definition von Anforderungen zur Erreichung einer Nutzungsdauer von 100 Jahren. Auszüge hierzu:

*FprEN 1990:2022 (D), Definition **3.1.2.27 Instandhaltung** (en. «Maintenance»)*
Gesamtheit der Maßnahmen, die während der Nutzungsdauer des Tragwerks durchgeführt werden, damit es seine Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllt.

*FprEN 1990:2022 (D), **A.2.5 Dauerhaftigkeit** (en. «Durability»)*
(1) Alle Tragwerksteile, deren Bemessungsannahme auf einer Prüfung und Instandhaltung beruht, um ihre Dauerhaftigkeitsanforderungen während der geplanten Nutzungsdauer zu erfüllen, müssen so konstruiert sein, dass Prüfung und Instandhaltung ermöglicht werden.

Umsetzung FprEN 1990:2022 (D), Tabelle A.2.2 in *prEN 1995-2* als ***Tabelle 4.1 (NDP)***:

	Category of Timber Structures	***Design Service Life, T_{if} [years]***
1	*Protected timber bridges (including their foundations and steel tension components according EN 1993-1-11), other civil engineering structures supporting road or railway traffic [a]*	*100 [b]*
2	*Timber bridges with the main structural members protected for a 50-year design service life [b]*	*50 [b]*
3	*Replaceable structural parts of bridges line 1 and 2 [c]*	*25*
4	*Temporary structures [d]*	*≤ 10*

[a] *See EN 1990:2022, Table A.2.2 (NDP) footnote a*

[b] *… Line 2 can be relevant, for example, for bridges in a low consequence class where the economic consequences of replacement after a shorter design service life are agreed to be acceptable by the relevant authority, or where not specified, agreed for a specific project by the relevant parties, for bridges in another building and noise barriers on bridges with walls made of timber elements.*

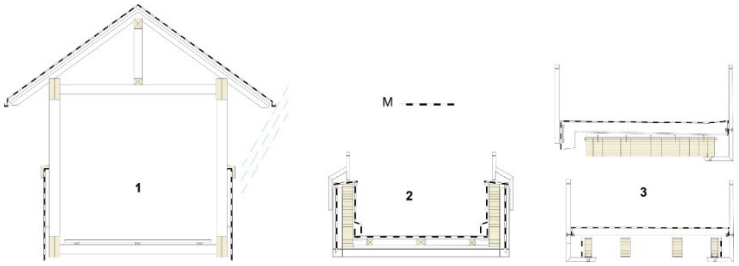
[c] *A value of 25 years may be given for replaceable structures or parts as well. ...*

Steel tension components according EN 1993-1-11 shall be designed with a design service life of 100 years (see 4.1.2.2), even if they should be replaceable. ...

[d] *See EN 1990:2022, Table A.2.2 (NDP) footnote c. Unprotected timber members should be classified as temporary structures. For timber with high durability class see 6.1.2 (6).*

*FprEN 1990:2022 (D), **4.8 Qualitätsmanagement** (en. «Quality management»)*
(1) Es sollten geeignete Qualitätsmanagementmaßnahmen umgesetzt werden, um ein Tragwerk zu erstellen, das den Entwurfsanforderungen und den Annahmen der Tragwerks-planung entspricht.
(2) Die folgenden Qualitätsmanagementmaßnahmen sollten umgesetzt werden:
– organisatorische Abläufe für Entwurf und Bemessung, Bauausführung, Nutzung und Instandhaltung;
– Kontrollen in der Entwurfsphase, während der konstruktiven Durchbildung, bei der Bauausführung, während der Nutzung und Instandhaltung.

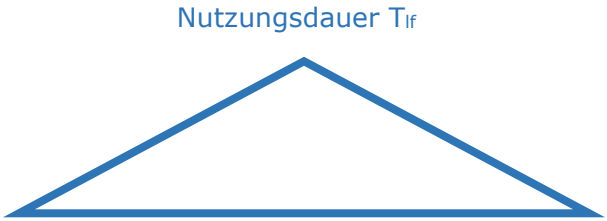
Im Entwurf prEN 1995-2 Holzbrücken wurden im Hinblick auf die geplante Nutzungsdauer die Begriffe geschützt und ungeschützt eingeführt. Die zugehörige Definition lautet:
prEN 1995-2, ***3.1.2 Protected Member*** *(ge.«Geschütztes Bauteil»)*
structural member not exposed to direct weathering such as rain, snow, or other sources of moisture ingress.



Key
M Membrane or weather-resistant layer
1 Covered footbridge (bridge with a roof)
2 Trough bridge
3 Deck bridge

prEN 1995-1-1, Figure 3.1: Examples of protected timber bridges

Grundsätzlich tragen die Dauerhaftigkeit und damit Nachhaltigkeit zur Wirtschaftlichkeit von Holzbauwerken bei. Daher ist das folgende sog. «magische Dreieck» zu beachten:

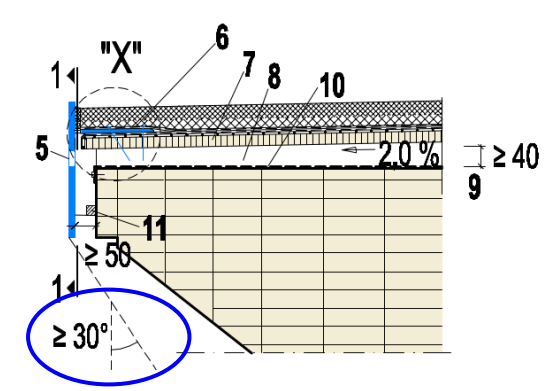


Grundsätzlicher baulicher Holzschutz
nach prEN 1995-1-1, prEN 1995-2,
und nationale Regelungen
(z. B. DIN 68800, DIN 1074, ZTV-ING)
→ erhöht die Robustheit

(siehe prEN 1995-2, Annex D)

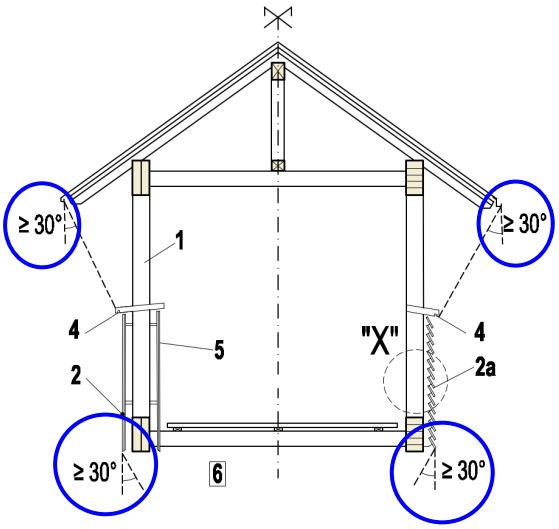
Da Bauschaffende die Sprache der Ausführungsplanung sprechen, wird in einem neuen informativen Anhang D anhand stark vereinfachter Zeichnungen beispielhaft dargestellt, wie Holzbrücken grundsätzlich geschützt werden können. Es werden 5 Möglichkeiten für den grundsätzlichen baulichen Holzschutz, 3 Beispiele für Dehnungsfugen und 2 Beispiele für den Anschluss von Brückenkappen an den Überbau. Um dem gerecht zu werden, werden im informativen Anhang B zusätzliche Anforderungen an die Prüfung und Instandhaltung von Holzbrücken bereitgestellt. Beide Anhänge können national ergänzt, aber auch ganz oder in Teilen abgelehnt (NDP) werden.
In diesem Zusammenhang wurden in prEN 1995-2, 6.2 auch die Erfahrungen in Deutschland und der Schweiz mit Asphaltbelägen eingebracht (siehe auch /8/).

Alle Bilder («*Figures*», s.o.) – auch die Beispiele in Anhang D – waren sprachenneutral zu erstellen. Deshalb folgt nach jeder Zeichnung der «Key» mit Erläuterung zu den einzelnen Buchstaben und Zahlen innerhalb der Zeichnung. Hinweise und Kommentare zu einer Zeichnung werden jetzt in Paragraphen und Notes nach dem Key angegeben.
Nachfolgend werden beispielhaft zwei grundsätzliche Hinweise anhand einzelner Zeichnungen gegeben: Der Erste betrifft den baulichen Schutz tragender Holzbauteile vor eingetragener Feuchtigkeit. Die Oberflächen tragender Holzbauteile können dann als geschützt angesehen werden, wenn sie durch überstehende Dächer oder hinterlüftete Bekleidungen vor Regen unter einem Einfallswinkel von mindestens 30° gegenüber der Vertikalen geschützt sind – sofern nicht lokale Erfahrungen einen größeren Winkel erfordern. Der zweite Hinweis betrifft die Hinterlüftung zur Abführung von Kondensat sowie die Entfernbarkeit von Bekleidungen (4) zur Prüfung. Bei Einhaltung der Querschnitte kann auf einen aerodynamischen Nachweis verzichtet werden.
Der Schutz stählerner Verbindungsmittel in Holzbrücken vor Korrosion wird in Tabelle 6.2 der prEN 1995-2 behandelt. Neu ist, dass neben der bekannten Nutzungsklasse (NKl, en. SC) nunmehr auch die Holz-Expositions-Klasse T_E und die Expositionsklasse C_E der Atmosphäre zu beachten sind. Der Schutz von Stahlbauteile ist im EC3 geregelt.





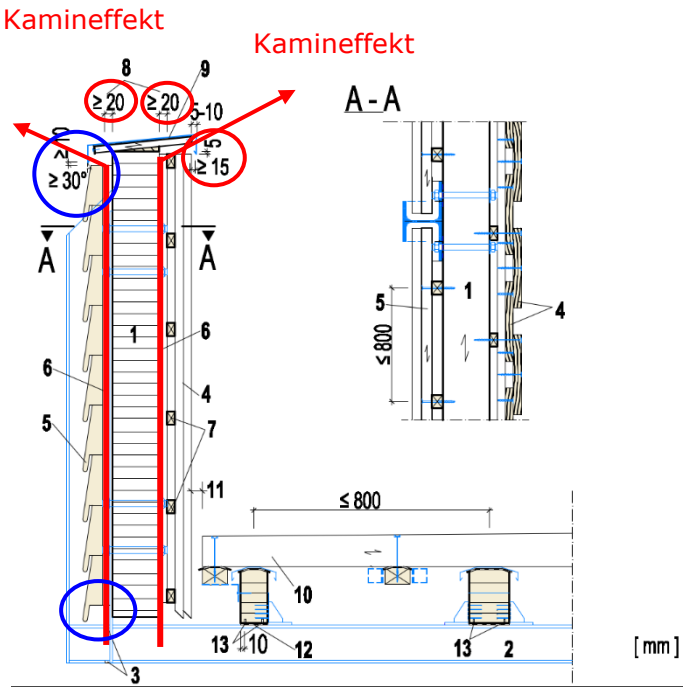






Regen: Einfallswinkel mindestens 30° gegen die Vertikale

prEN 1995-1-1, Annex D – Durability, drawing T-Pos 3 and Pos-3: Constructional wood protection
above — Possibility 3: Closed road surface: sealing system
below — Possibility 1: Sheating by roof and claddings



Key

A-A	*Section A-A*
…	
4	*Cladding (generally outside) *)*
5	*Vertical weather boarding (outside) *)*
	*) Bekleidungselemente für Inspektion örtlich leicht entfernbar
…	
8	*Ventilation openings, horizontal ≤ 100 cm³ / m, vertical ≤ 50 cm² / m*
…	
	Mindest-Lüftungsöffnungen für den Kamineffekt rot eingekreist

prEN 1995-1-1, Annex D – Durability, drawing T-Pos 2: Constructional wood protection
Possibility 2: Sheating of through bridge

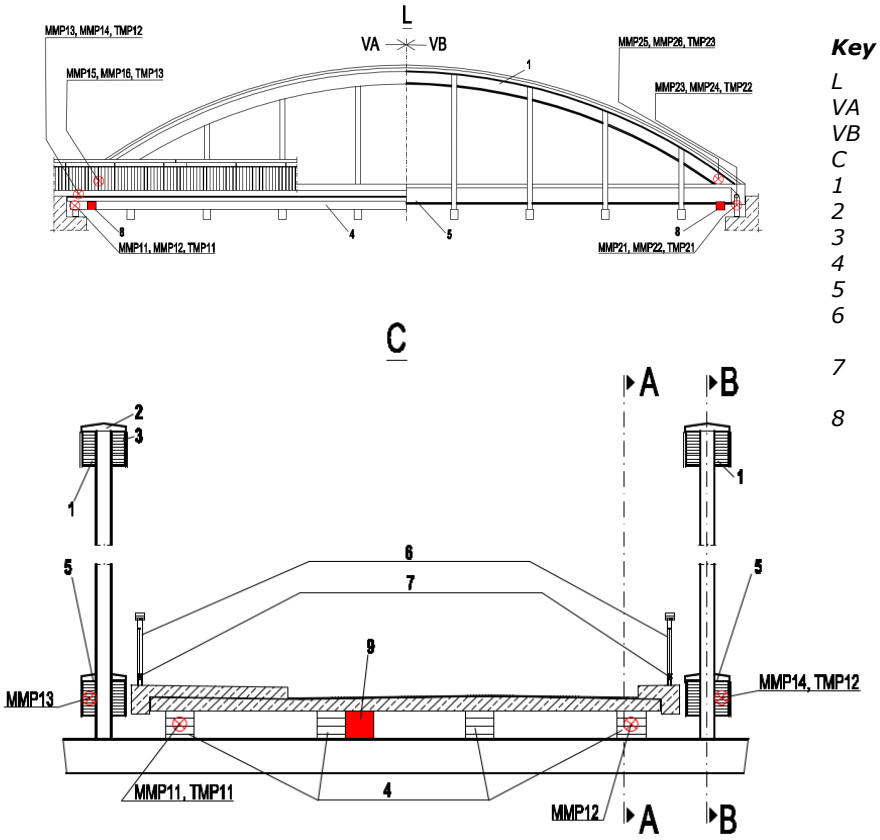
prEN 1995-2, Table 6.2: Timber exposure T_E-categories and atmospheric exposure C_E-categories with examples of minimum requirement for thicknesses for pure zinc coating, hot-dipped galvanized coating, and types of stainless steels for timber bridges (outdoor) with a design service life of 100 years [50 years]

Situation	***Timber exposure category T_E***	***Atmospheric exposure category C_E***	***Typical atmospheric exposure*** *(informative)*	***Examples of minimum***	
				zinc thickness	***stainless steel grade (type)***
Protected outdoor with access of pollution (SC2 and SC3)	*T_E3/T_E4*	*C_E2*	*L_{sea} > 10 km L_{street} > 100 m and/or low polluted area (< 5 µg/m³ of SO_2)*	*T_R3: 40 µm (n/a if T_E4) [20 µm (55 µm if T_E4)]*	*CRC II (e.g. 1.4301)*
	T_E3/T_E4	*C_E3*	*10 km > L_{sea} > 3 km 100 m > L_{street} > 10 m and/or medium polluted area (5 µg/m³ ≤ SO_2 ≤ 30 µm/m³)*	*C_R3: 110 µm [80 µm]*	*CRC III (e.g. 1.4401)*
	T_E3/T_E4	*C_E4*	*3 km > L_{sea} > 0,25 km L_{street} < 10 m and/or high polluted area (30 µg/m³ < SO_2 ≤ 90 µm/m³)*	*C_R4 [b]: n/a [g] [110 µm]*	*CRC III (e.g. 1.4401)*
	T_E3/T_E4	*C_E5*	*L_{sea} < 0,25 km and/or very high polluted area (90 µg/m³ < SO_2)*	*C_R5 [b]: n/a*	*CRC III (e.g. 1.4529)*
Permanent in contact with ground- or freshwater (SC4)	*T_E5*	*n/a [g]*	*For T_E5/SC4 especially in case of seawater each case should evaluated individually.*	*C_R5 [b]: n/a*	*CRC III to CRC V*

2.2. Prüfung und Instandhaltung

Darüber hinaus sind Brücken aller Materialien in regelmäßigen zeitlichen Abständen zu untersuchen, wofür ein Monitoring hilfreich sein kann. In der Zeichnung D.6.1 im Anhang D wird am Beispiel einer Bogenbrücke gezeigt, an welchen Stellen die Einrichtung welcher Monitoringsysteme hilfreich ist – auch im Hinblick auf die Nutzungsklasse (*Use Class / UC*) nach EN 355; siehe hierzu Table D.1.

Ausgehend von EN 1990:2022 nimmt das Thema der Dauerhaftigkeit und damit auch das der Inspektion und Unterhaltung einen deutlich größeren Stellenwert auch in der Holzbaunorm ein; siehe auch Abs. 3.1.1 sowie Hinweis auf prEN 1995-2, Anhang B.



Key

L	*Longitudinal section*
VA	*view A-A*
VB	*view B-B*
C	*Cross section*
1	*Arch truss UC ½*
2	*Roof board*
3	*Lead sheet*
4	*Longitudinal beam*
5	*Pliers beam*
6	*Railing vertical components UC 3.1*
7	*Railing horizontal component UC 3.2*
8	*Instrument box 1 (or 2)*

MMP
Moisture measurement point

TMP
Temperature measurement point

prEN 1995-1-1, Figure D.6.1: Detailing T-Mon – Moisture Monitoring – Example arch truss (timber bridge) – Use classes UC

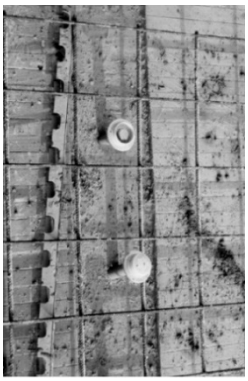
prEN 1995-1-1, Table D.1: Components of an arch road bridge (example)

Component	***Use class (UC) [Service class SC)]***	***Protective measure***	***Wood type***	***Durability Class (DC)***
	EN 335 [prEN 1995-1-1]	***EN 1995-2 Sample drawings***	***EN 13556***	***EN 350, Table B.1***
Longitudinal beam	*2 [2]*	*Weather protection through roadway slab and transition 1, protection of the truncated wood fibres, protection against insect attack through technical drying, visibility and control of insect infestation*	*Spruce as glulam*	*4*
Arch truss / pliers beam	*2 [2]*	*Weather protection by cladding and shuttering, protection against insects by technical drying and insect protection grid, visual inspection every 6 years by removal of claddings*	*Spruce as glulam*	*4*
Railing	*Vertical: 3.1 [3]* *Horizontal: 3.2 [3]*	*None, maintenance* *Component*	*European larch*	*3*

2.3. Zukünftig EN 1995-1-3; z.Zt. CEN TS 19103 Holz-Beton-Verbund-Bauwerke und Integrale Brücken (*integral abutments*)

Die Bemessungsregeln für Holz-Beton-Verbund (HBV)-Konstruktionen sollen in der Baupraxis erprobt werden. Hierzu wurde die europäische Vornorm bereits u.a. ins Deutsche übersetzt und als DIN CEN/TS 19103 (Vornorm 2022-02) veröffentlicht.

In der Technischen Spezifikation (*technical specification*) TS ist das Trag- und Verformungsverhalten der Kerve als Schubverbundmittel geregelt. Im Hinblick auf die abhebenden Kräfte der Kerve sind Beanspruchungen auf diese Abhebesicherung (Tellerkopfschrauben) angegeben.



Ausgehend von den Untersuchungen an der Universität Stuttgart wurde festgestellt, dass durch das rheologische Materialverhalten (Schwinden und Kriechen sind zeitlich gegenläufig) neben den Zeitpunkten t=0 und t=∞ auch dieser Zeitraum 3 bis 7 Jahre nachzuweisen ist, da i.d.R. maßgebend wird (Allgemein anerkannter Stand der Technik; vgl. /6/).

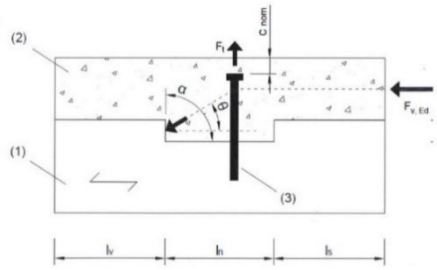


Figure 10.2 – Notched connection dimensions

Grundsätzlich sind auch alle bisher durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / allgemeine Bauartgenehmigung (abZ/aBG) bzw. europäisch technischer Bewertung (ETA) geregelten Verbindungsmittel einsetzbar.

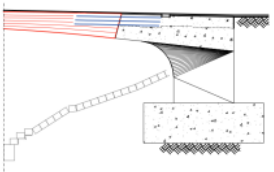
Für die Bemessung und Ausführung eingeklebter Stahlstangen wurde zunächst ein Technischer Bericht (en. «Technical Report» (TR) zum Stand der Technik dieser speziellen Verbindungsart vorbereitet. Dessen Inhalt wurde zwischenzeitlich in der prEN 1995-1-1, Kapitel 11, und der prEN 1995-3 aufgenommen, sodass der TR nicht weiter als eigenständiger Teil verfolgt wird.

Da sich die Kriechfaktoren für Beton in HBV-Brücken von denen in bekannten Hochbaukonstruktionen aufgrund deutlich größerer Querschnitte unterscheiden, enthält der neue normative Anhang A der prEN 1995-2 entsprechende Bestimmungsgleichungen.

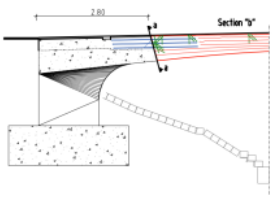
Hinsichtlich der Ausführung Integraler Brücken in Holz-Beton-Verbund-Bauweise (siehe beispielhaft nachfolgende Bilder zur Rokoko- und Bahnhofsbrücke in Schwäbisch Gmünd) hat das ProjektTeam SC5.T6 keinen über die EN 1990, A.2.7.10 hinaus gehenden Regelungsbedarf gesehen.







Längsansicht-Auflagerbereiche
Fully integral – full height abutments



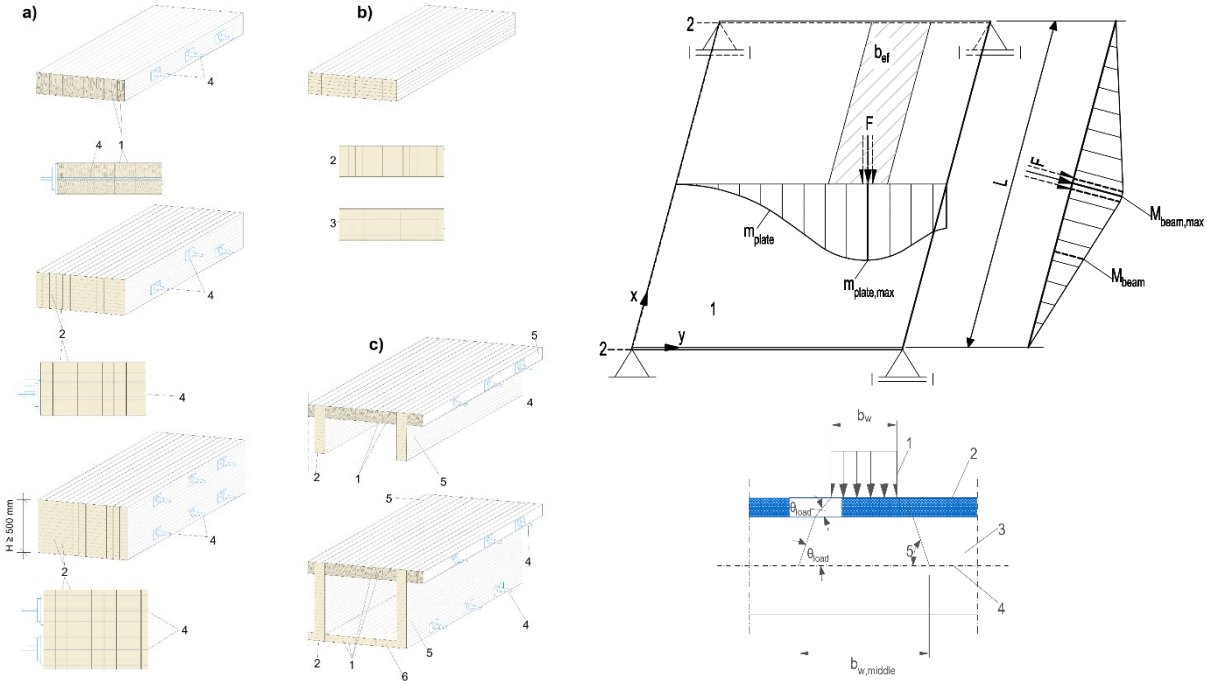
2.4. Hölzerne Fahrbahnplatten

Die Mehrheit der europäischen Staaten war dafür, die gegenüber der prEN 1995-2:2010 fortgeschriebenen Bemessungsverfahren in die normativen Anhänge L und O des Hauptteils der neuen prEN 1995-1-1 zu übernehmen. Dies schließt die nachfolgende Tabelle ein, in der Reibkoeffizienten μ zwischen Nadelschnittholzlaminierungen sowie zwischen Nadelschnittholzlaminierungen und Beton angegeben werden für den Fall, dass keine davon abweichenden Werte nachgewiesen wurden.

prEN 1995-1-1, Table L.1: Reibbeiwerte μ für verschiedene Verbindungen von Strukturen im Außenbereich

Oberflächenrauhigkeit der Laminierung	**Rechtwinklig zur Faserrichtung μ_{90} [-]**	**Parallel zur Faserrichtung μ_0 [-]**
Schnittholz zu Schnittholz	0,40	0,30
Hobelware zu Hobelware	0,30	0,25
Schnittholz zu Hobelware	0,40	0,30
Holz zu Beton	0,40	0,40

In der Schweiz ist die vor allem von Prof. Gehri weiterentwickelte «QS-Bauweise» bekannt. Hierbei werden Vollholzbalken in Spannrichtung nebeneinandergelegt und mit Stahlstäben quer zur Faserrichtung als Fahrbahnplatte zusammengespannt (siehe Figure 8.1 a). Dadurch können die (punktförmigen) Radlasten über mehrere Balken verteilt werden (siehe Bild ganz rechts oben). Heutzutage werden diese Fahrbahnplatten (Holzdecks) vor allem in den skandinavischen und baltischen Staaten eingesetzt, auch unter Verwendung von Brettschichtholz (BSH) oder Brettsperrholz (BSP).



prEN 1995-2, Figure 8.1: Examples of timber decks for bridges made of lamellas

Hinzuweisen ist noch auf den informativen Anhang E, der Hinweise zu Verformungen und Maßänderungen von Holzkonstruktionen unter wechselnden Umweltbedingungen wie Temperatur oder Holzfeuchte sowie Hinweise zu quer vorgespannten Deckplatten aus Holz (u. a. zum «Schüsseln» der Plattenseiten) enthält.

2.5. GZG (en. «SLS»): Durchbiegungen, Verformungen

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) sind Durchbiegungen infolge von Verkehrs- und Windeinwirkungen bei Holzbrücken zu prüfen und zu begrenzen, um unerwünschte dynamische Einwirkungen durch den Verkehr, die Verletzung erforderlicher Abstände, Risse in der Deckschicht und Schäden am Entwässerungssystem zu vermeiden.

Holzbrücken biegen sich im Allgemeinen stärker durch als Stahl- oder Betonbrücken, was auf den relativ niedrigen Elastizitätsmodul (E-Modul) von Holz und den für Holzverbindungen typischen relativ niedrigen Gleitmodul zurückzuführen ist. Der Bereich der Grenzwerte für Balken, Platten oder Binder mit Spannweite L ist in Tabelle 9.2 angegeben. Die empfohlenen Werte sind unterstrichen. Die verwendeten Werte können auf nationaler Ebene gewählt und müssen dann im Nationalen Anhang angegeben werden. Enthält der Nationale Anhang keine entsprechenden Informationen, sind die Werte aus Tabelle 9.2 zu verwenden.
Die maximale elastische Verformung unter variabler Belastung sollte («*should*») aus Gründen der Nutzungsfreundlichkeit angegeben werden.

prEN 1995-2, Table 9.2 (NDP): Grenzwerte für die Durchbiegung von Holzbalken, -platten und -bindern

Einwirkung (Wert für häufige Belastung)	**Bereich der Grenzwerte** vertikal	horizontal
Verkehrslasten auf Straßenbrücken [1)]	*L*/600 bis *L*/750	-
Verkehrslasten auf Fuß-, Radwegen und Fußgängerbrücken	*L*/600 bis *L*/900	-
Windlasten	-	*L*/700 bis *L*/1500

[1)] Bei der Bemessung kann das Fahrzeug wie folgt positioniert werden:
- im Falle von Holzplatten in der Mitte der Fahrbahn;
- im Falle von Hilfskonstruktionen so nah wie möglich am Rand der Fahrbahn.

Darüber hinaus sollten («*should*») die Anforderungen an langfristige Verformungen unter Dauerbelastung einschließlich Kriecheffekte berücksichtigt werden.
Die Überhöhung sollte («*should*») mindestens den langfristigen Verformungen entsprechen, die durch Eigenlasten und quasi-ständige Anteile von Verkehrslasten verursacht werden.

Bei flachen Brücken sollte eine Vorwölbung aus Gründen des Wasserabflusses und der Ästhetik vorgenommen werden.
In 6.2 (1) NOTE werden zusätzliche Grenzwerte für Dichtungssysteme angegeben.

Um lokale Schäden am Dichtungssystem einer Brückenplatte zu vermeiden, sollte die Längszugbelastung die typische Zugbelastbarkeit der Dichtungsmembran nicht überschreiten. Liegen keine Angaben zur Dehnungsfähigkeit vor, kann für die Bemessung der Plattenoberseite ein Wert von 1,5‰ verwendet werden. Es sollte die typische Lastkombination benutzt werden.

2.6. prEN 1998-2: Erdbebenbemessung «earthquake resistance»/«seismic design»

Im prEN 1998-2 «Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben: Brücken» werden nun auch Holzbrücken berücksichtigt. Hier wurden die Vorschläge von SC5.T6 weitestgehend übernommen – überwiegend in einen Informativen Anhang C. Die prEN 1995-2 enthält ergänzende Informationen in einem ebenfalls Informativen Anhang C.
Spannend wird noch die Frage, wie die Normenreihe auf Gebiete mittlerer oder geringer Seismizität mittels national zu wählende Parameter / Regelungen adaptiert werden kann.

Im Übrigen soll an dieser Stelle auf den Vortrag /7/ verwiesen werden.

2.7. GZG (en. «SLS»): Schwingungen, Dämpfung

Die bisher bekannten Anhänge A (Ermüdung) und B (Schwingungen, Dämpfung) wurden in den Hauptteil der prEN 1995 integriert. Um die Nutzungsfreundlichkeit in beiden Bereichen zu erhöhen, wurden die Nachweisverfahren speziell für Brücken im Vergleich zur prEN 1995-1-1 bzw. EN 1990:2022 vereinfacht (siehe nachfolgender Zusammenhang zwischen der vertikalen Eigenfrequenz f_{vert} und dem Reduktionsfaktor ψ_{vert} (für Laufen und Walken) aus dem erläuternden *Background Document (BGD)*.

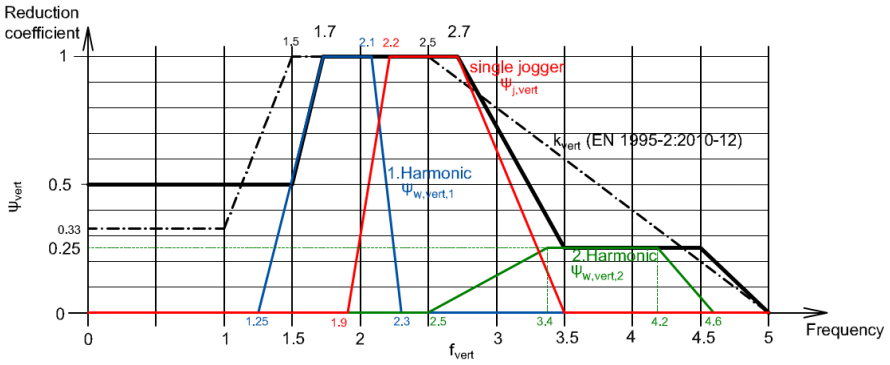


Figure 9.1 BGD - Relationship between the vertical and longitudinal fundamental natural frequency f_{vert} and the coefficient ψ_{vert}

Die Grundlagen zur Bemessung von Fußgängerbrücken unter personeninduzierter Anregung sind in /5/ ebenso angegeben, wie die Regelungen im neuen EN 1991-2, Anhang G, und des neuen EN 1990, Anhang H – erweitert um die Erläuterungen in der prEN 1995-2 für den Anwender zum besseren Verständnis der *Table H.1 «Comfort levels and corresponding allowed vertical and horizontal accelerations»* und der *Table G.1 «Traffic Classes»*. In *Table G.1* der EN 1991-2 werden verschiedene harmonische Frequenzen angegeben für Anregungen durch einen Fußgängerstrom, eine Gruppe von Fußgängern, und einen Jogger/ Walker (siehe Figure 9.1 BGD). Darauf aufbauend wurde ein vereinfachtes Nachweisverfahren entwickelt (schwarze Linie in Figure 9.1 BGD). Sofern die Nachweise nicht eingehalten werden, sind die genaueren Nachweise nach EN 1990 und EN 1991-2 zu führen.
Ferner sind in prEN 1995-2 Werte zur kritischen Dämpfung nach Lehr angegeben.

2.8. Ermüdung

Nach der Diskussion verschiedener anderer Überprüfungsmodelle im SC5.T6 (siehe Hintergrundpapier / BGD) wurde beschlossen, das bisherige k_{fat}-Modell, wie es in der aktuellen Fassung der EN 1995-2:2010 verwendet wird, beizubehalten. Da Ermüdungserscheinungen nicht nur bei Holzbrücken auftreten, sondern bei allen Arten von Holzkonstruktionen, einschließlich Schwingungen durch Industriemaschinen, Kranbahnen, mehrgeschossiger Holzbau, Türmen für Windkraftanlagen, Verkehrsschildern und Glockentürmen, wurden die Regelungen in den allgemeinen Teil prEN 1995-1, Kapitel 10, verschoben. Die allgemeine Bemessung von Hochbaubemessung mit Holzbauteilen wurde hierauf angepasst.

Grundlage der Nachweise der Ermüdungsbeanspruchbarkeit ist das Spannungsverhältnis R_T der arithmetisch minimalen zur maximum Spannung eines speziellen Spannungszyklus der Holzbemessung. Da der Faktor die Reduktion der Ermüdungsbeanspruchung mit der Anzahl der Lastzyklen darstellt, hängen die k_{fat}-Werte von R_T ab. Als Vereinfachung gegenüber einer «vollständigen» k_{fat}-Überprüfung wurde vorgeschlagen nur zu berücksichtigen, ob die Ermüdungsbeanspruchung alternierend ist (sog. Wechselbeanspruchung) oder nicht (sog. Schwellbeanspruchung), um dann die k_{fat}-Werte für $R_T = 0$ oder $R_T = -1$ in Bezug zu nehmen.

In die Nachweisgleichungen sind neben der erwarteten Lebensdauer (im Hochbau 50 Jahre) auch die maximale Anzahl der Lastwechsel zu berücksichtigen.
In der prEN 1995-2 wurden nur die Teile beibehalten, die besonders für Holzbrücken relevant sind:
- einige allgemeine Teile zur Bewertung der Ermüdung von Holzkonstruktionen;
- Teile des Dokuments, die sich mit Ermüdungslastmodellen befassen;
- ein vereinfachtes Ermüdungsnachweismodell speziell für Brücken.

Die k_{fat}-Werte wurden nach dem aktuellen Anhang A in EN 1995-2:2010 für $2*2*10^6$ Lkw pro Jahr bewertet («worst case» gemäß der aktueller EN 1991-2:2010: zwei Fahrspuren, 100 Jahre Bemessungslebensdauer und ß = 3 (erhebliche Auswirkungen)). Daraus ergibt sich eine Bemessungslastwechselzahl von $1{,}2*10^9$. Unter Berücksichtigung der erstgenannten Parameter (T_{lf} = 100 Jahre, N_{obs} = $2*10^6$ auf 2 Fahrspuren) konnte die Gleichung in der prEN 1995-1-1 vereinfacht und in der prEN 199-2 nachfolgende Tabelle 10.1 angegeben werden.

prEN 1995-1-1, Table 10.1: Reduction factors kfat for simplified verification for ß = 1 [ß = 3]

	Compression	***Bending and tension axial***	***Connections with dowels***
$-1 \leq R < 0$ *(reversed loading)*	-	*0,13 [0,08]*	*0,04 [-]*
$0 \leq R$ *(non-reversed loading)*	*0,52 [0,49]*	*0,17 [0,13]*	*0,28 [0,24]*

3. Fazit, Ausblick

Es bleibt festzuhalten, dass die EC5-Bestimmungen zur Standsicherheit von Bauwerken überarbeitet, aufgrund der zwischenzeitlichen Erfahrungen erweitert und an den Stand der Technik angepasst wurden.
Der Geltungsbereich auch des Holzbrückenteils hat sich erheblich vergrößert, da neue Holzprodukte, Verbindungen und Bauweisen Eingang gefunden haben. Das zentrale Interesse der Aktualisierung lag auch in der Erhöhung der Nutzerfreundlichkeit durch Neustrukturierung, Homogenisierung, Vereinheitlichung und Anwenderfreundlichkeit – daher auch die Vereinfachung so mancher Regelung (siehe Schwingungs- und Ermüdungsnachweise). Trotz einer erhöhten Seitenzahl und der gestiegenen Anzahl an NDPs (u.a. aufgrund von EC0 und EC1) haben die Normenschreiber:innen stets die Frage der Praxistauglichkeit im Auge behalten.
Als Schlussfolgerung kann aber festgehalten werden: Die zweite Generation des EC5 ist keine Revolution, sondern eine Evolution/Weiterentwicklung.

Die endgültigen Dokumente (*final document / FIN DOC*) aller 5 EC5-Teile wurden 2023 technisch fertiggestellt und zusammen mit Hintergrunddokumenten (*Background Document / BGD*) und den Übersetzungen in die beiden anderen Amtssprachen Deutsch und Französisch veröffentlicht. 2023 ist auch das Jahr, in dem die Mitgliedsstaaten im Rahmen des *Formal Enquiry* noch technische Einsprüche einbringen können; zum *Formal Vote* (FV) im April/Mai 2025 sind nur noch editorielle Einsprüche möglich. Die verbleibenden Schritte des Normungsprozesses sind in Tabelle 1 ab der Zeile in blau dargestellt.

Tabelle 1: Zeitplan für die Veröffentlichung der zweiten EC5-Generation

Committee/Group	**Task/Milestone**	**Date**
EU	Mandate M 515	2012
CEN	Technical work starts	2015
TC 250/SC 5	Work of project teams (PT)	2016-2021
CCMC	DIN and AFNOR ends translation for ENQ	20.06.2023
TC 250	Start CEN Enquiry	14.09.2023
TC 250	End of CEN Enquiry	04.01.2024
TC 250	SC ends Review for Formal Vote (FV)	25.08.2023
TC 250	TC 250 chair/secretariat end check for FV	18.10.2024
TC 250	Start FV	01.04.2025

TC 250	End of FV	26.05.2025
CCMC	CCMC ends editing for publication	24.06.2025
CCMC	DIN and AFNOR ends (final) translation for publication	29.07.2025
TC 250, CCMC	Crossover CEN/TS 19103 (TCC) into EN 1995-1-3	2025-2026
DIN	Drafting new national Annexes (NAD's)	2023-2025
DIBt	Withdraw contrary national regulations	2027-??
EU	Publication in the Official Journal	2027-??

Der für 2025 bzw. 2027 geplante Abschluss der Arbeiten an den europäischen Holzbaunormen scheint noch in weiter Ferne zu liegen und die nationalen Anwendungsdokumente werden wahrscheinlich erst 2027 vorliegen; doch die meisten wesentlichen Änderungen sind bereits bekannt. Der Anwendungsbereich ist zwangsläufig gewachsen, um neue Holzbauprodukte zu berücksichtigen sowie bekannte Bemessungsansätze zu erweitern und zu optimieren. Dennoch wird, wie schon bei der ersten EC5-Generation, ein zusätzlicher Lern-, Schulungs- und Ausbildungsprozess notwendig sein. Zusammenfassend lässt sich sagen: Die zweite Generation des EC5 ist keine Revolution, sondern eine Evolution, die konsequent auf den Prinzipien und Erfahrungen der Vorgängerversion aufbaut.

4. Literatur

[1] Schenk, M.; Werther, W.; Gerold, M. 2022 The Next Generation – Die Weiterentwicklung der Holzbaubemessung nach Eurocode 5. In: Quadriga, H. 6, p. 16 - 19

[2] Dietsch, P.; Schickhofer,G.; Brunauer, A.; Tomasi, R.; Hübner, U.; Krenn, H.; Mestek, P.; Moosbrugger, T.; Wiegand, T. 2018 Eurocode 5:2022 – Einführung in die neuen Abschnitte Brettsperrholz und Verstärkungen. In: Karlsruher Tage 2018 – Holzbau – Forschung für die Praxis, S. 65-84, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine (Hrsg.)

[3] Hübner, U. 2022 Überblick über das neue Kapitel zur Verbindungstechnik im Eurocode 5. In: 26. Internationales Holzbau-Forum IHF 2022, Band I, S. 267-276

[4] Gerold, M. 2023 Die nächste Generation Eurocode 5 – aktueller Stand, wichtige Änderungen. In: Deutsche Sachverständigentage für Holzbau und Ausbau 2023

[5] Hamm, P. 2022 Vibration, Deflections. In.: 4th International Conference on Timber Bridges ICTB2021PLUS, Biel (Schweiz)

[6] Schänzlin, J.; Dias, A. 2022 TCC and Integral Bridges. In.: 4th International Conference on Timber Bridges ICTB2021PLUS, Biel (Schweiz)

[7] Gerold, M. 2022 The further Development of the Design of Timber Structures according to Eurocode 5 – Part 2: Timber Bridges. In.: 4th International Conference on Timber Bridges ICTB2021PLUS, Biel (Schweiz)

[8] Müller, A.; Schiere, M.; et al. 2022 Details for timber bridges with asphalt wearing surfaces - Creating a connection between asphalt surface and timber deck bridges. In.: 4th International Conference on Timber Bridges ICTB2021PLUS, Biel (Schweiz)

THE TRETTEN BRIDGE COLLAPSE. How could it happen?

Kjell Arne Malo
Department of Structural Engineering,
NTNU Norwegian University of Science and Technology
Trondheim, Norway



THE TRETTEN BRIDGE COLLAPSE. How could it happen?

1. Introduction

On the morning of 15 August 2022, Tretten Bridge in Norway collapsed and fell into the river Gudbrandsdalslågen and onto the E6 highway.

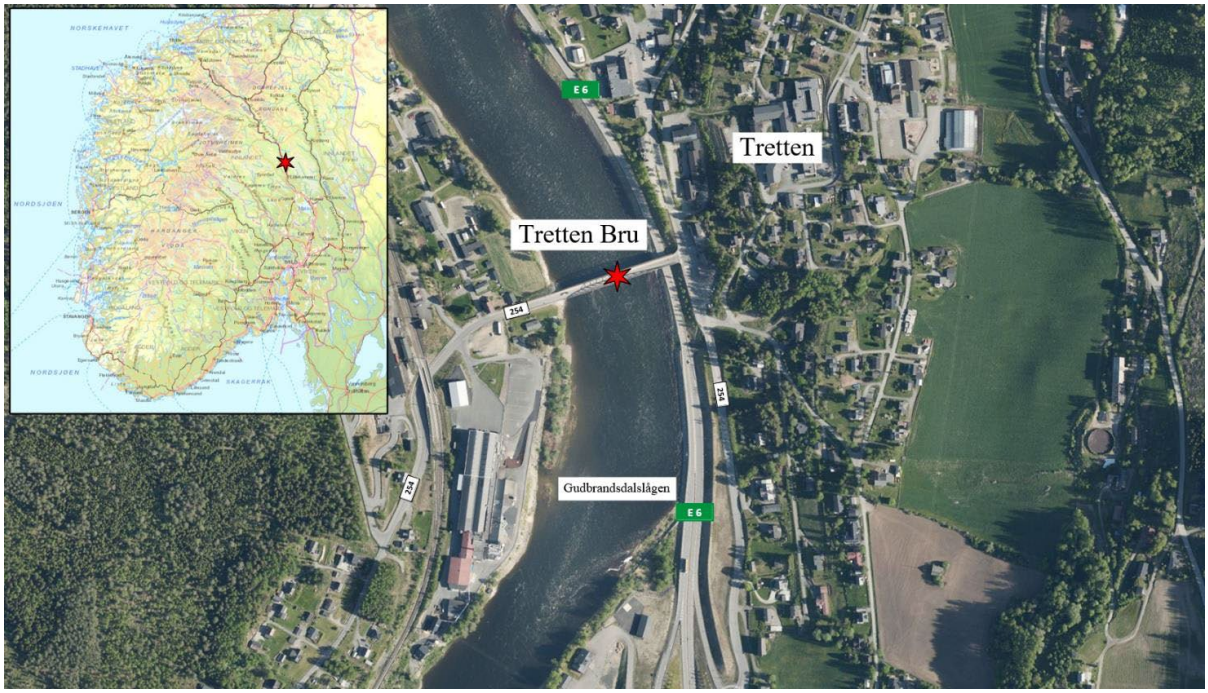


Figure 1: Location of Tretten Bridge in Norway

Not only one of the main river crossings was lost, also the European highway (E6) which is the main route to north and north-western parts of Norway, was blocked and the traffic had to be redirected through narrow roads in residential areas at Tretten. The bridge collapsed without warning, for traffic loads much smaller than the design load. Luckily no-one was seriously injured, both drivers on the bridge at the collapse were safely rescued.



Figure 2: Bridge after collapse

The work for this new bridge at Tretten, replacing an old single lane steel truss bridge, started in 2004. The new Tretten bridge, a two-lane combined steel and timber truss bridge, was finalized in 2012.

The bridge concept may briefly be explained as U-shaped moment rigid frames in the transversal direction formed by the verticals and the crossbeams in steel. All diagonals and upper- and lower chords are in wood (glulam), except the noses for landing the truss-work at the abutments, which are in steel. The deck, resting on the crossbeams, is a stress-laminated continuous timber deck with asphalt topping. The two bridge trusses were manufactured in 6 subframes each and connected by installation of the dowel in the joints on site. Both the upper and lower chords are continuous, except at the 5 splicing locations. More details about the bridge is present in a conference paper, see ref. [1].



Figure 3: Finished bridge in 2012.

The Norwegian Safety Investigation Authority (NSIA), together with an external expert group, have carried out the technical investigations with respect to the collapse. The investigation is documented by the report [2]. The present author was a member of the external expert group.

2. Investigation

2.1. Securing evidence

Shortly after the collapse, the local police closed the actual parts of the connected roads and started to explore the situation. The traffic situation on highway E6 required removal of the bridge parts blocking the highway as soon as possible. This work was challenging due to the large dimensions of the bridge components, rough stream in the river and a difficult situation with respect to the workers HSE conditions. Based on videos of the collapsed bridge, it was decided to put the emphasis on the zones marked with circles in Figure 4. The majority of the parts within the circles were carefully collected and made available for inspections.

2.2. Disintegration at axes 3

A drawing of the U-frame in steel is shown on Figure 5. The vertical forces are transferred directly through brackets, while moments engage the bolts in the connections.



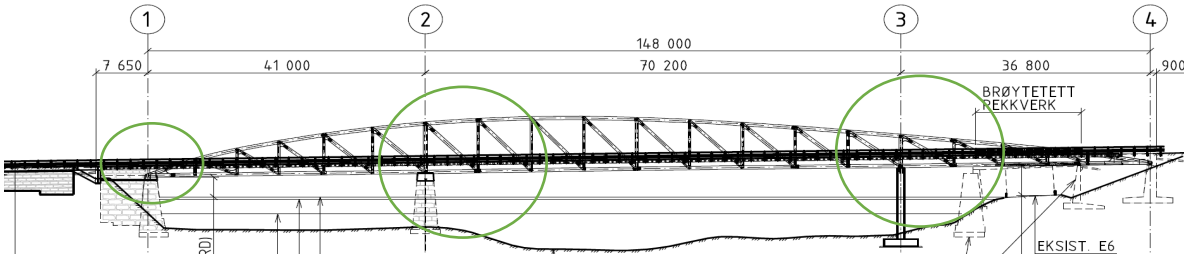


Figure 4: bridge and bridge zones with top priority (marked with circles)

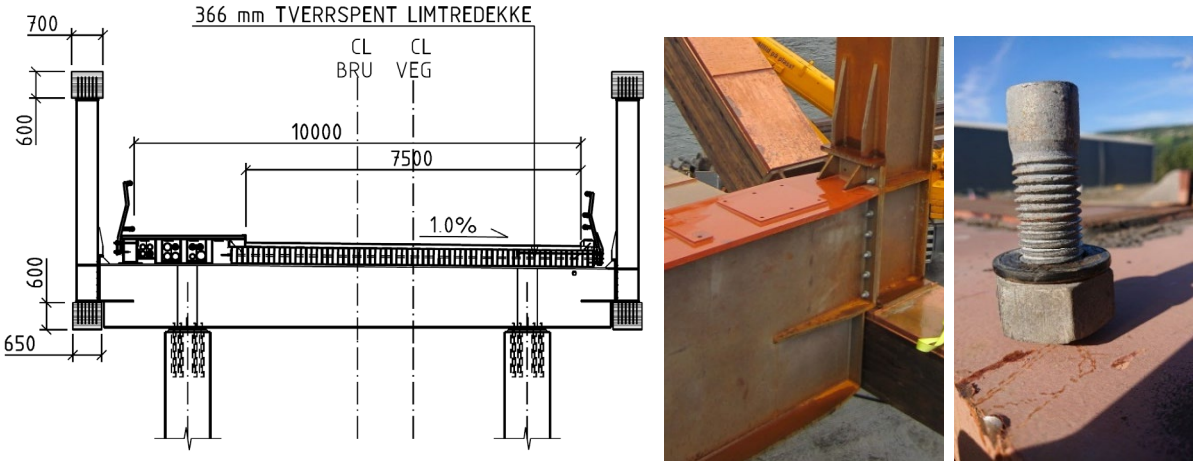


Figure 5: Left: U-frame in steel at axis 3 Right: Moment rigid connection in U-frame.Clipped bolt

As it may be observed from photo on Figure 4, the U-frame at axis 3 has lost its integrity and the connected trusses have fallen off the supporting crossbeam. This possible failure scenario requires that the bolts securing the vertical steel member to the steel crossbeam fail. An initial failure in this connection requires hence an axial force in the bolts, either causing a tensile failure in the bolts or fatigue failure due to cyclic moments. All bolts had fallen off and therefore the first rescue operation at the bridge site was to use large electro-magnetic devices to collect all possible metal parts which had ended in the river due to the collapse. In this way almost half of the bolts were found and based on the fracture zones, it was clear than all bolts were clipped off, and no trace of axial or fatigue failure was seen. It was therefore concluded that the support in axes 3 was not the initial failure location.

2.3. Structural modelling for collapse sequence scenarios

The bridge was modelled with different levels of detailing using several 3D programs in addition to a 2D program. As the behaviour of the bridge is almost symmetrical about the longitudinal centreline of the bridge, and the collapse mode also appears symmetrical, the results from 3D and 2D programs were very close. Figure 6 presents the basic modelling approach together with the axial force distribution due to the lorry on the bridge at the collapse in critical position. The lorry model was lorry no 3 in fatigue load model 4 (FLM4) in EN 1991-2, as it was quite similar in weight and load distribution. The resulting axial force distribution indicates that the most utilized zones are close to axes 2 and 3.

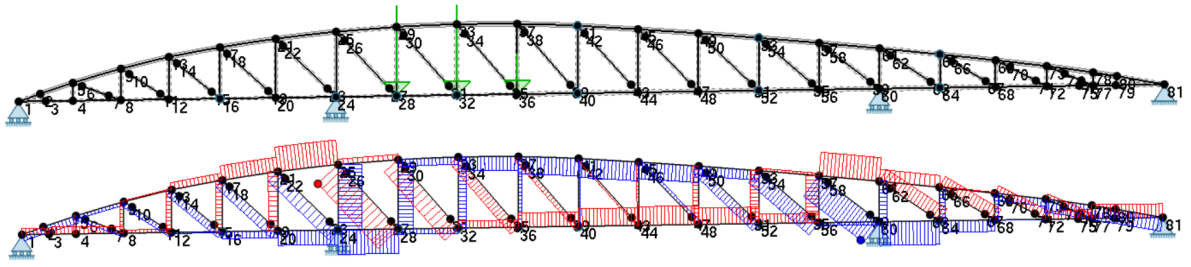


Figure 6: Numerical simulation of the loading immediately prior to collapse Upper: Vehicle on critical location for zone around axes 2 Lower: Axial force distribution, resulting critical zones close to axes 2 and 3

It was discovered that the deck structure (continuous stress laminated timber deck) and the support columns at axis 3 had a significant role in the collapse, so the structural FE models were altered to accommodate for a more realistic behaviour when large deformations occur in the simulations. The left part of the truss between axes 1 and 2 behaves like a rigid body during the collapse (see photo on Figure 4) and the force distribution within this part becomes insignificant. The lower chord here was replaced by the deck structure, and the deck was allowed to detach from the line of the lower chord. The roller support at axis 3 was replaced by a steel column fixed to the joint in axis 3. The self-weight and traffic load on the structure were kept constant. The modified static FE model and the resulting force distribution in undamaged state are shown in Figure 7.

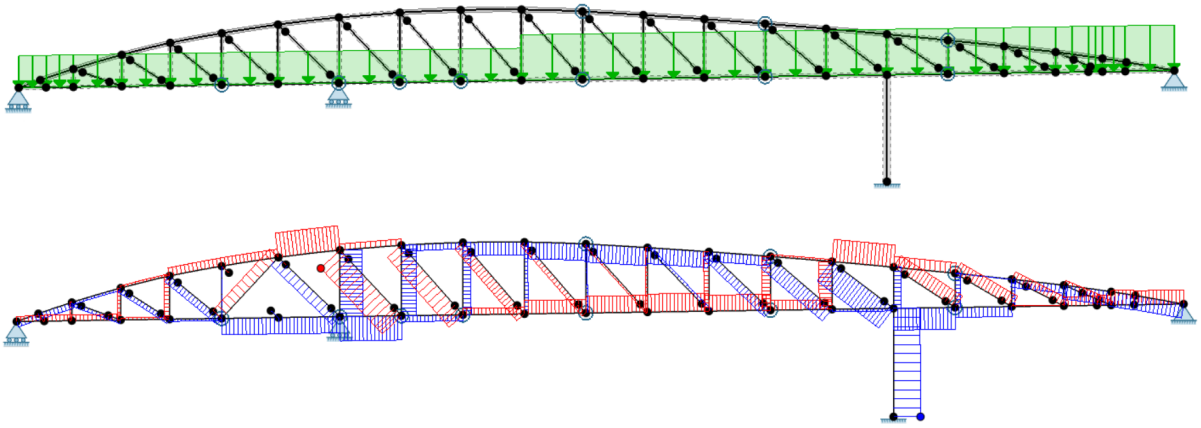


Figure 7: Modified FE model for progressive collapse

These modifications did not alter the force distribution in the elastic small deformation regime, but they allowed to follow the collapse using large deformation computations. The 2d static analyses program (Fap2D) used in this paper takes into account large geometrical deformations, but no material nonlinearities, so the degradation in strength was handled by lowering the stiffness moduli and removal of elements according to the strength estimations.

Several initial locations were explored, but it turned out that only failure initiation in diagonals 6 or 7 were consistent with the observed damages from the collapse, and had the potential to propagate the failure into a full collapse for the given load scenario with a single lorry of 490 kN on the bridge. However, an initial failure in diagonal 7 did not give immediate failure propagation, but merely additional damage to the neighbouring elements like diagonal 6. When a failure in diagonal 6 occurs, the failure will propagate. The potential elements for failure initiation are visualized on Figure 8.

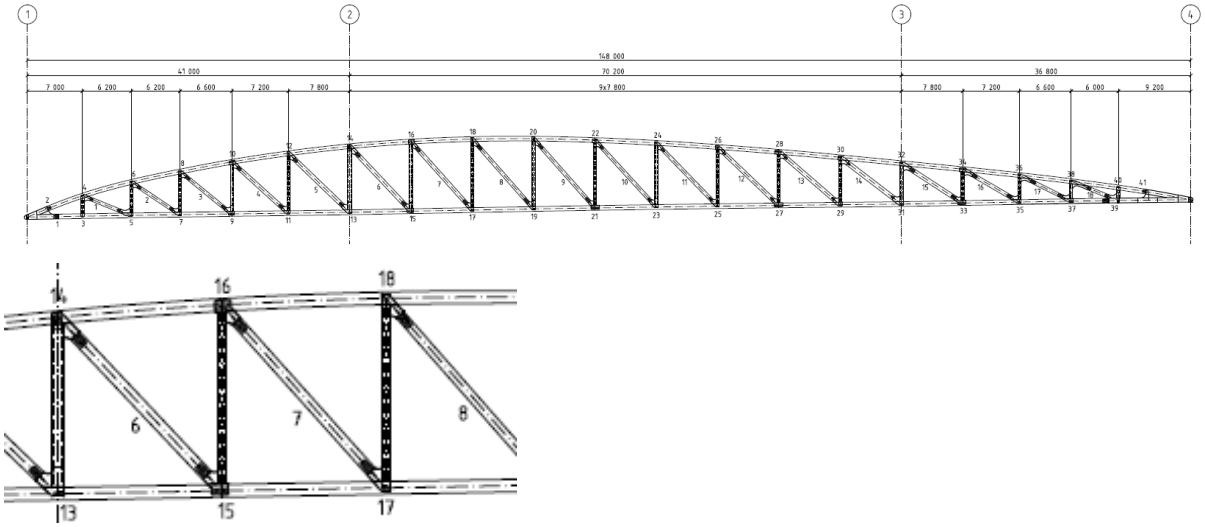


Figure 8: Potential elements for initial failure, diagonal 6 and 7

The resulting deformations from the numerical simulations of the collapse propagation are shown on Figure 9.

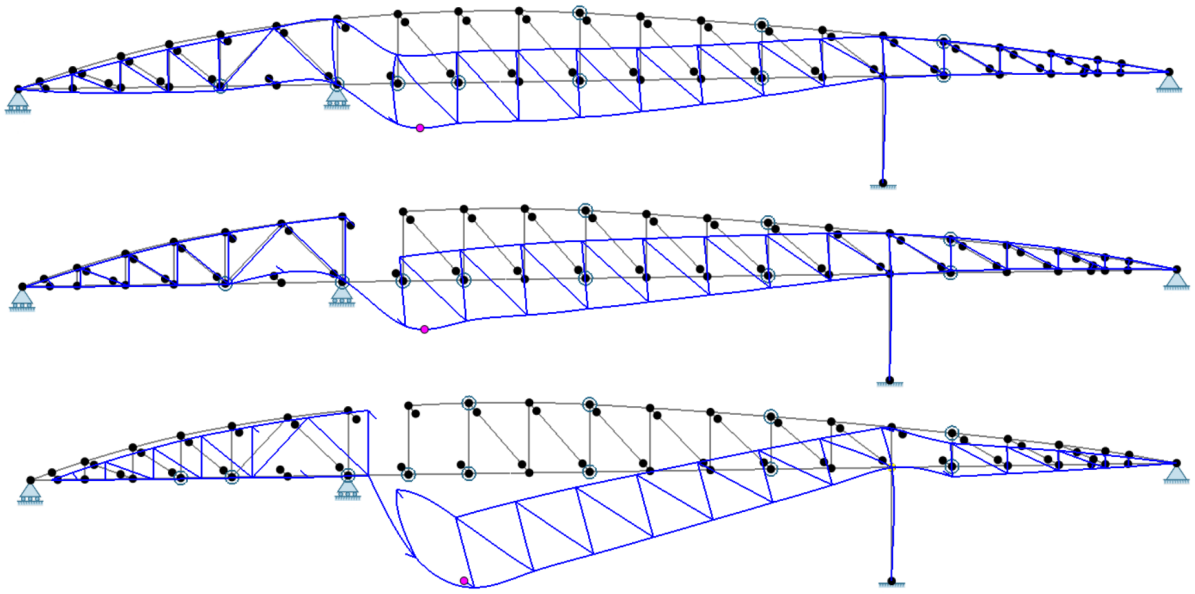


Figure 9: Progressive collapse after initiation in diagonals 6 or 7

The failure sequence is summarised as follows and visualized on Figure 10.

- The failure is initiated in diagonals 6 or 7.
- Left part axes 1-2 moves like a rigid body, the deck acts as a membran and pulls off the cross beams from the supports at axes 1 and 2.
- The splice and diagonals to the right of axis 3 become overloaded.
- The bolts at the crossbeam in the U-frame in axis 3 are clipped by the rotational movement of the center part of the bridge and trusses fall.

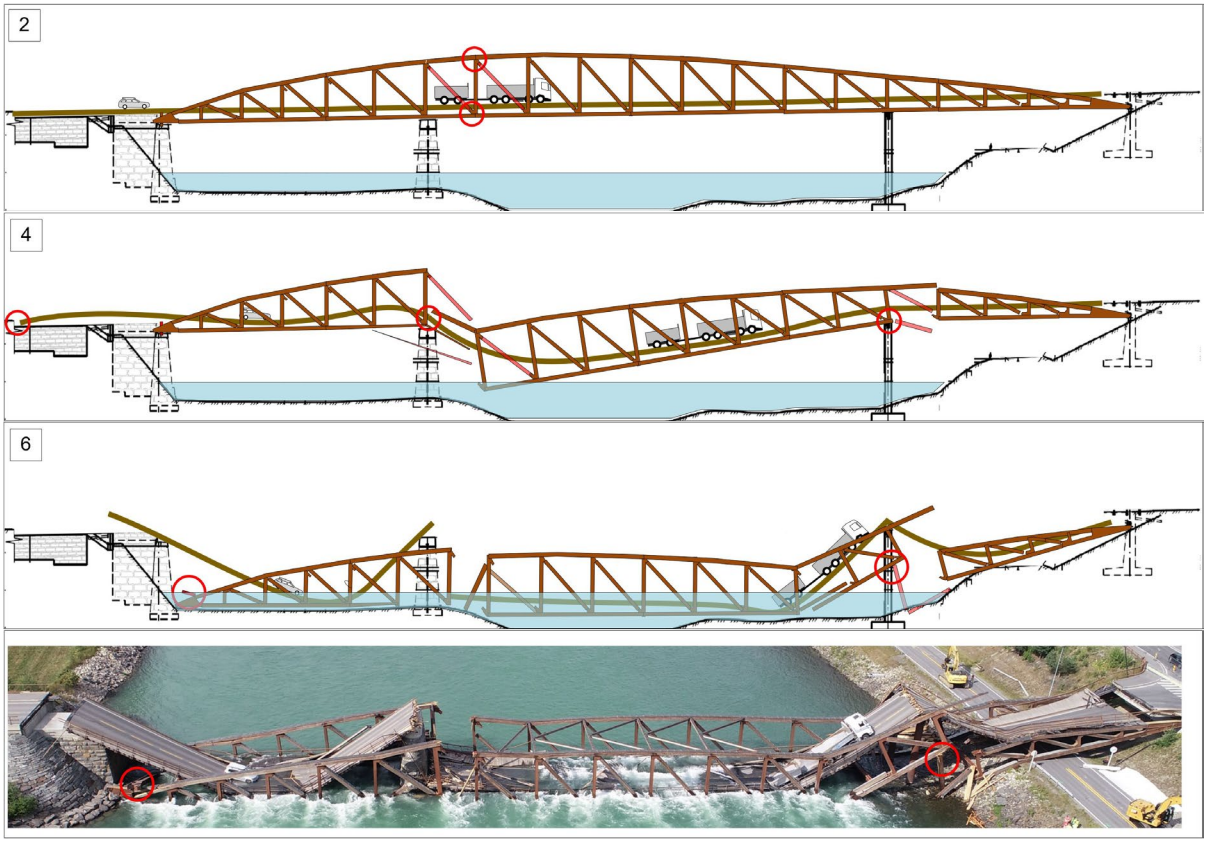


Figure 10: Visualization of the stages of progressive collapse

3. Failure mode and strength

The diagonals 6A, 6B, 7A and 7B all had large tensile forces (A = upstream truss, B=downstream truss). The moments at the joints of the trusses were not large but might have effect on the strength of the connections. During the progressive collapse the moments in some joints became large and led to moment failure. Most of the failed joints in diagonals 6A, 6B, 7A and 7B showed variants of block (shear) pull-out failure, consider Figure 11.



Figure 11: Block (shear) pull-out failure joint 14B in diagonal 6B

The material in the diagonals was GL30c, i.e. the inner lamellas (T14.5) had lower strength than the outer lamellas (T22). The dowel connections were located in the inner lamellas and therefore T14.5 strength was the actual strength for verification and calculations.

Diagonal 13B had minor damages and was rescued, and from this diagonal several tests on the material and connection strength were made. The objectives of the testing were to evaluate the mean tensile strength as well as to determine the connection strength of the diagonals 6 and 7.



Figure 12: Connection test leading to block pull-out failure

The tests confirmed that block (shear) pull-out was the lowest failure mode, and that the small head tensile area was critical together with the tensile strength. The evaluation of the mean tensile strength gave the following:

- Uniaxial tension tests: >19.6 Mpa (shear failure at fixture)
- Combination of compression and 4-points bending:~32 Mpa
- Block pullout tests and net head tensile area:~33 Mpa
- From testing of sorting procedures for T14.5:~29 Mpa

Based on the experimental results and observations of failure parts, no indications of wood material decay or lack of fulfilment of the specified material properties were found. As the statistical basis for the results from sorting procedures was much broader, it was decided to use 29 Mpa as representative mean tensile strength for T14.5 lamellas in the computations to evaluate the cause of the collapse. The strength of the connections was then determined to be:

- Diagonal 6: 2630 kN
- Diagonal 7: 1890 kN

These strengths are consistent with those in modern timber regulations like [4, 5], but with mean values and all factors related to statistical distribution and safety removed.

4. Cause of failure

The sequence of the collapse from the physical evidence and the numerical simulations showed no contradictions and hence the failure probably started in one of the diagonals 6A, 6B, 7A and 7B. The mean tensile strength of the material of these diagonals was estimated by tests and calculations, and based on this knowledge, the loading scenarios which might lead to the failure were investigated. In short there are only two possibilities, either overloading by too many or too heavy vehicles on the bridge simultaneously, or damage accumulated over time leading to reduced strength.

4.1. Extreme loading

The bridge collapsed with an ordinary truck passing the bridge in direction axes 1 to 4 (load scenario 1). The weight of the truck was about 50 ton or 490 kN. This loading is far less than the design load. The following loading scenarios for overloading were computed by the numerical FE models, both in 2D and 3D and the corresponding forces in the diagonals were compared to the mean strength.

1. Weight of truck at collapse: 50 ton (500 kN)
   Force diagonal 6: 1776 kN (Capacity =2630 kN)
   Force diagonal 7: 1400 kN (Capacity =1890 kN)
2. Largest special vehicle in 2015: 97 ton (970 kN)
   Force diagonal 6: 1969 kN (Capacity =2630 kN)
   Force diagonal 7: 1516 kN (Capacity =1890 kN)
3. Two 50 tons trucks are meeting on worst locations, or two 50 tons trucks are in a row in the same lane, or whole midspan filled with 25 kN/m in one lane (timber transport 60t per vehicle in a row without separation) give maximum forces:
   Force diagonal 6: 2215 kN (Capacity =2630 kN)
   Force diagonal 7: 1561 kN (Capacity =1890 kN)

From the above loading scenarios on the bridge it is not likely that the bridge becomes overloaded by too much simultaneous traffic. From comparison of the special transport in 2015 (load scenario 2) to the load on the bridge at collapse (load scenario 1), it is obvious that the damage was not created by the truck on the bridge at collapse, but it must have been present in advance. No damage was reported after load scenario 2 in 2015, and no serious damage has been reported after the regular inspections of the bridge.
There is a traffic station which register the traffic passing the bridge, and only a regular traffic pattern has been recorded in the time before the collapse. There is therefore no trace indicating that overloading was the direct cause of the bridge collapse.

4.2. Fatigue loading

An overview of the heavy traffic on the bridge was put together based on the traffic registration and on the regular traffic to and from the dairy plant of Tine. Tine is not included in the traffic registration due to their entrance being located just after the bridge abutment in ax1s 1, which is just before the traffic registration location. The overview is an estimation of the heavy traffic which has passed the bridge during its lifetime of ten years, and is given in Table 1.

Table 1: Heavy traffic during 10 years

Source	Length [m]	Load [ton]	Passes per day	Comment on load	Total no of passes
Tine	12.5 - 16	50	20	(6 d pr week) full load	62400

Tine	12.5 - 16	20	20	(6 d pr week) empty	62400
Traffic registr	7.6 – 12.5	30	35	full load	127750
Traffic registr	7.6 – 12.5	15	35	Empty	127750
Traffic registr	12.5 - 16	50	5	Full	18250
Traffic registr	12.5 - 16	20	5	Empty	18250
Traffic registr	16 – 24	60	7.5	Full	27375
Traffic registr	16 – 24	25	7.5	Empty	27375
Specialtransp		80		specified	8

It was judged that lorry number 3 specified in fatigue load model 4 (FML4) in EN 1991-2 [3] was quite representative with respect to load and load distribution of much of the traffic, so FML4-lorry 3 was used throughout the fatigue computations. The loading was then sorted after weight in load cases presented in Table 2, where load train 1 is in the lane giving most stresses in the diagonals 6B and 7B (eccentric lanes).

Table 2: Load cases for fatigue evaluation

Load case i	**Weight (ton)**	**No of passes**	**Scale factor Load train 1**	**Scale factor Load train 2**
1 (Selfweight)		1	0	0
2	15	127750	0.3061	0
3	20	244900	0.4082	0
4	25	273375	0.5102	0
5	30	127750	0.6122	0
6	50	80650	1.0204	0
7	60	27375	1.2245	0
8 (special)	80	8	1.6327	0
9 (meeting)	50 + 30	2357	1.0204	0.6122

The fatigue computations considered all failure modes in the connections and most of the connections showed no vulnerability to fatigue damage. However, some of the connections were extremely exposed to fatigue damage, especially the connection in diagonal 7, which has passed its lifetime to an extreme degree with a Miner-Palmgren sum of more than 200. The next connection is the one in diagonal 6 with Miner-Palmgren sum more than 9, hence this diagonal was also well above its expected lifetime. Also, connections in diagonal 16 close to axis 3 showed too much fatigue damage. The fatigue damage were all due to tensile block (shear) pull-out failure mode.

Table 3: Fatigue results for damaged parts in Tretten Bridge

Load case-> Component	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**Sum all load cases**
Diagonal 6			0.07	0.14	3.54	4.29	0.010	1.16	9.21
Diagonal 7	0.01	0.35	2.27	3.97	82.94	104	0.29	30.62	224
Diagonal 8					0.12	0.13		0.03	0.28
Diagonal 9					0.02	0.02			0.05
Diagonal 15					0.16	0.20		0.06	0.43
Diagonal 16			0.02	0.03	0.68	0.94		0.28	1.95
Joint 21 right					0.03	0.03		0.01	0.08
Joint 27 left					0.05	0.06		0.02	0.13

5. Conclusion

Tretten bridge had reduced strength prior to the collapse. There was no trace of traffic overload and the most likely cause of the collapse is damage accumulated over time i.e. fatigue. The failure mode was block (shear) pull-out failure. The bridge was designed according to regulations [7] from the national road authorities and the Norwegian national standard for timber structures at that time (NS 3470-1) [8], which did not have any regulations regarding block (shear) pull-out failure. Diagonal 7 was much more exposed to fatigue than diagonal 6, and most probably failure initiation took place in diagonal 7. However, also a failure in diagonal 6 was necessary for propagation. Wood has large variability in strength, and by assuming that diagonal 7 is 20% stronger than diagonal 6, the order of failure initiation may be switched between diagonals 6 and 7. The fatigue is caused by too high stress concentrations in the head tensile area resulting from narrow dowel groups.

6. References

[1] Hårstad-Evjen, J.A. et al: Tretten Bridge – Timber and Steel in Harmony. International Conference on Timber Bridges 2013- Las Vegas, Nevada USA, https://intrans.iastate.edu/app/uploads/sites/12/2019/03/ID_100_Harstad-Evjen.pdf.

[2] Statens havarikommisjon: (NSIA):Delrapport 1 Kollapsen av Tretten bru i Øyer kommune 15. august 2022, RAPPORT VEI 2023/03, August 2023, havarikommisjonen.no.

[3] CEN European Committee for Standardization, EN 1991-2 (2010), Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges.

[4] CEN European Committee for Standardization, EN 1995-1-1 (2004), Eurocode 5 Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and common rules for buildings.

[5] CEN European Committee for Standardization, prEN 1995-1-1 (2023), v2023-04-19 N1729. Eurocode 5 Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and common rules for buildings.

[6] CEN European Committee for Standardization (2004) Eurocode 5 – Design of timber structures – Part 2: Bridges, Annex A, EN 1995-2: 2004.

[7] Statens vegvesen, Bruprosjektering. Håndbok 185. Oktober 2009. Norwegian Public Road Authorities.

[8] NS 3470-1, Prosjektering av trekonstruksjoner. 5. utgave juli 1999, Norwegian Standards.

Green Gantry – Langzeitmonitoring einer Mautbrücke aus Holz

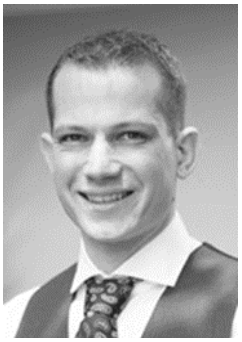
David Glasner
Institut für Holzbau und Holztechnologie,
Technische Universität Graz
Graz, Österreich



Katharina Rynesch
Kapsch TrafficCom AG
Wien, Österreich



Georg Flatscher
freiraum ZT gmbh,
Zivilingenieurbüro für das Bauwesen
Hartberg, Österreich



Georg Jeitler
Hasslacher Holding GmbH
Sachsenburg, Österreich



Andreas Ringhofer
Institut für Holzbau und Holztechnologie,
Technische Universität Graz
Graz, Österreich
freiraum ZT gmbh,
Zivilingenieurbüro für das Bauwesen
Hartberg, Österreich



Iris Kral
Denkstatt GmbH
Wien, Österreich



Green Gantry – Langzeitmonitoring einer Mautbrücke aus Holz

1. Einleitung und Motivation

Seit nunmehr 30 Jahren führt die kontinuierliche Forschung und Entwicklung der Holzbauprodukte Brettschichtholz (BSH) und Brettsperrholz (BSP) und der dafür notwendigen Verbindungstechnik zu einer Metamorphose des früher ein Nischendasein fristenden Holzbaus hin zur ökologischen und innovativen Bauweise der Zukunft. Einen wesentlichen Beitrag dazu haben die mitteleuropäische Holzindustrie als Weltmarkt- und Technologieführer und einige innovative, ausführende Holzbauunternehmen geleistet, welche die moderne Holzbauweise in die Welt hinausgetragen haben. Wie anhand von Hochhäusern, u.a. in Wien (AT), London (UK), Melbourne (AU), Singapur (SG) oder Vancouver (CA), Flughäfen in Wien (AT) oder Lapu-Lapu (PH) oder weitgespannten Dachkonstruktionen in Frankfurt (DE) oder Taiyuan (CN) eindrucksvoll aufgezeigt wird, scheinen dem Holzbau bisweilen keine Grenzen mehr gesetzt zu sein. Die internationale Reputation in Kombination mit der für die Realisierung dieser Projekte notwendigen Professionalisierung der Planung, Produktion und Logistik verleihen dem Holzbau nunmehr das notwendige Rüstzeug, in völlig unterschiedlichen Branchen eingesetzte, traditionelle – jedoch meist sehr energieintensive – Bauweisen mit Beton und/oder Baustahl, ökonomisch adäquat und ökologisch vorteilhaft zu substituieren.

Ein derartiges Beispiel im Bereich der Infrastruktur sind sogenannte Überkopfbrücken (engl. Gantrys), i.d.R. Portalrahmen, die zur Erbringung von Information für Verkehrsteilnehmer (Schilderbrücken) oder zur Beschaffung von Information von Verkehrsteilnehmern (stationäre Mautsysteme) an Europas Autobahnen flächendeckend eingesetzt werden. Wie Abbildung 1 illustriert, weisen gegenwärtig übliche Ausführungen eine vergleichsweise große Variabilität bezüglich der Bauform, des Bauteiltyps und des statischen Systems (Vollwandträger, Fachwerke, biegesteife Rahmen, etc.) auf, während (ab Oberkante Fundamentsockel) insbesondere Baustahl der dominante Werkstoff für die Herstellung dieser Gantrys ist.

Die extremen Witterungsbedingungen, welche Überkopfbrücken im Straßenverkehr je nach Standort ausgesetzt sind, in Kombination mit der Exposition durch chemisch aggressive Tausalze in den Wintermonaten bzw. die ermüdungswirksame Beanspruchung infolge Wind- und ggf. Verkehrsbelastung, vgl. [1], bedingt nicht nur einen vergleichsweise aufwändigen Korrosionsschutz mittels (Feuer-)Verzinkung sondern führt auch bei geringen, punktuellen Beschädigungen dieses bzw. einer Überlastung von Anschlüssen zufolge Materialermüdung zu einer wesentlichen Einschränkung der Dauerhaftigkeit der Stahlgantrys (vorgesehene Nutzungsdauer > 20 Jahre), was zu Überholungsintervallen von mitunter < 10 Jahren führt. Wie u.a. in [2] und [3] demonstriert, haben sich insbesondere bei starker Salzbelastung alternative Lösungen in Holzbauweise bereits in der Vergangenheit erfolgreich bewährt; die u.a. von [3] mittels Bausystem errichteten Streusalzsilos sind aus dem heutigen Straßenbild nicht mehr wegzudenken. Dieser Umstand verbunden mit der Intention, in Zeiten der globalen Erderwärmung vermehrt auf eine ressourcenschonende und CO_2-einsparende Bauweise in Holz als Substitut energieintensiver Baustoffe wie Stahl zu setzen, war Motivation, die wissenschaftliche Untersuchung der wesentlichen Grundlagen für eine zukünftige Herstellung von Mautbrücken in Holzbauweise zu initiieren und entscheidend voranzutreiben.

Das Hauptziel des FFG THINK.WOOD Projektes «GREEN_GANTRY» ist das Schaffen der technologischen Grundlagen für eine mittelfristige Markteinführung von Mautbrücken (bzw. Überkopfbrücken im Allgemeinen) in innovativer und CO_2-einsparender Holzbauweise. Darüberhinausgehend soll die Akzeptanz in der Mobilitätsbranche für dieses neue Produkt «Holz-Gantry» anhand einer anschaulichen Demonstration einer Teststation geschaffen werden. Ein weiteres Ziel des Projektes ist die zu erwerbende Fähigkeit, die

Verhaltensweisen (a) ausgesuchter, leistungsfähiger Holzbauverbindungen bei ermüdungswirksamer Beanspruchung und (b) unverstärkter bzw. verstärkter Holzbauteile zufolge einer aufgrund der extremen Bewitterung resultierenden Holzfeuchtevariation adäquat beschreiben zu können. Auch im konstruktiven Holzschutz werden durch das Projekt signifikante Erkenntnisgewinne erwartet. Ferner sollen die im Zuge des Projektes bestimmten Effekte und verifizierten Ansätze für die ingenieurmäßige Anwendung aufbereitet werden, sowohl speziell für die statisch-konstruktive Bearbeitung von Überkopfbrücken im Straßenverkehr als auch für generelle Aufgabenstellungen des Holzbaus.



Abbildung 1: Bandbreite an unterschiedlichen Bauformen und Mautgantrys in unterschiedlichen Ländern

Der vorliegende Beitrag hat den Zweck, das FFG THINK.WOOD Projekt «GREEN_GANTRY» (06/2022 bis 05/2025) der breiten Fachöffentlichkeit vorzustellen. Das Hauptaugenmerk ist dabei auf den Charakteristika einer Prototypenanlage in Holzbauweise gelegt, welche das Kernstück des Projektes darstellt und im Februar 2023 am Testgelände des ÖAMTC in Teesdorf (AT) in Betrieb genommen wurde.
Eine Zusammenfassung der statisch-konstruktiven Gestaltung dieser baulichen Anlage findet sich im folgenden Abschnitt 2, während die beiden Abschnitte 3 und 4 auf die wissenschaftlichen Aspekte des Förderprojektes eingehen.

2. Statisch konstruktive Beschreibung des Objekts

Im Rahmen einer Variantenstudie wurden unterschiedliche Tragkonzepte für die Mautbrücke in Holz skizziert und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile diskutiert. Da diese Tragwerke tendenziell an vielbefahrenen Straßen (Autobahnen, Schnellstraßen, etc.) eingesetzt werden, mussten neben den statischen und ästhetischen Aspekten, insbesondere die Punkte «Montageaufwand» und «Dauerhaftigkeit» verstärkt berücksichtigt werden.
Schlussendlich ergab die gewählte Variante mit rund 6 m hohen A-Stützen (im Folgenden als Stiele bezeichnet) und einem aus der Ebene biegesteif angeschlossenen Querbalken (im Folgenden als Riegel bezeichnet) mit rund 15 m Spannweite den ausgewogensten Mix aus konstruktiver Einfachheit, gut zu lösendem konstruktivem Holzschutz und der angestrebten Ästhetik, siehe Abbildung 2.



Abbildung 2: Bild der im Februar 2023 in Betrieb genommen Prototypenanlage

2.1. Konstruktiver Holzschutz

Die freie Bewitterung der Tragkonstruktion mit einer angestrebten Lebens- bzw. Nutzungsdauer von rund 20(+) Jahren in Kombination mit den eingeschränkten Möglichkeiten für Inspektion und Wartung, machten vertiefte Überlegungen zum konstruktiven Holzschutz unumgänglich.
Bei der Konstruktion wurde folglich darauf geachtet, die Kriterien für die Gebrauchsklasse 3.1 gem. ON B 3802-1 [4] (bzw. EN 335 [5]) einzuhalten und zudem die folgenden, in ON B 3802-2 [6] festgehaltenen «besonderen baulichen Maßnahmen» zu beachten:
- ausreichend Abstand zum umgebenen Boden,
- keine Holz-auf-Holz Kontaktflächen,
- waagrechte Bauteile mit oberseitiger Abdeckung ausführen, und
- das Hirnholz direkt bewitterter, senkrecht orientierter Bauteile schützen.

Bei konsequenter Einhaltung der genannten Punkte wäre gem. ON B 3802-2 [6] eine Einordung der Bauteile in die Gebrauchsklasse 0 und damit der Einsatz von Hölzern aller Dauerhaftigkeitsklassen möglich. Aufgrund des geplanten Einsatzbereichs erscheint diese Betrachtungsweise jedoch zu progressiv, weswegen die Wahl auf einen Hybridquerschnitt mit einem tragenden Kern in Fichte (Dauerhaftigkeitsklasse 4) und einer außenliegenden,

3 cm starken Schutzschicht bzw. Verschalung in Lärche (Dauerhaftigkeitsklasse 3-4 und gemäß ON B 3802-1 [4] Tabelle 2 auch in Gebrauchsklasse 3.1 einsetzbar) fiel. Lediglich die Oberseite des Riegels wurde gemäß den genannten «besonderen baulichen Maßnahmen» mit einer vollflächig verklebten, mehrschichtigen Dachabdichtungsbahn aus Glasvlies auf Basis von PVC abgedichtet.
Die Lärchenschalung wurde auf drei unterschiedliche Arten am tragenden Fichtenkern befestigt: (i) direkt aufgeschraubt, (ii) direkt aufgeklebt und (iii) mit Hinterlüftung aufgeschraubt (nur lokal im Lagerbereich). Durch den Schutz des eigentlich tragenden Kerns bot dieses Vorgehen überdies die Möglichkeit bei der Bemessung die Nutzungsklasse 2 anzusetzen (gem. EN 335 [5] für Gebrauchsklassen 1 und 2 möglich), was insbesondere bei der Wahl der Verbindungstechnik erhebliche Vorteile bzw. Erleichterungen bot. Ob diese Betrachtung bei stark beanspruchten Konstruktionen wie Mautbrücken zulässig ist bzw. ob es relevante Unterschiede bei den eingesetzten Arten der Verschalung gibt, ist eine der Fragestellungen im laufenden Forschungsprojekt in Punkto konstruktiver Holzschutz.

2.2. Lastansätze

Als Grundlage für die Lastaufstellung dienten die Anforderungen aus der RVS 05.02.11 [7], welche in weiten Teilen auf die bekannte Eurocode 1 – Serie verweist und zusätzlich die folgenden spezifischen Anforderungen enthält:
- Für Wind ist die Geländekategorie II vorgegeben und parallel zum Riegel ist eine Windersatzlast (Ersatzfläche von 10 m²) anzunehmen. Zudem ist eine Exzentrizität der Windlast zu berücksichtigen.
- Die Nutzlasten für die Wartung werden mit 1,0 kN/m² oder einer ungünstig aufgestellten Punktlast von 3,0 kN festgelegt.
- Für einen Fahrzeuganprall wird in der RVS 05.02.11 [7] eine Ersatzlast von 100 kN in einer Höhe von 1,25 m über der Fahrbahnoberkante gefordert. Hier wurde festgelegt, dass die Fundamente bzw. Betonsockel so ausgeführt werden müssen, dass für die Holztragkonstruktion keine Anpralllasten zu berücksichtigen sind.

2.3. Bemessung

2.3.1. Bauteile

Die RVS 05.02.11 [7] enthält keine Hinweise zur Bemessung von Holzbauteilen, weswegen im Wesentlichen auf die Regelungen in ON B 1995-1-1 [8] zurückgegriffen wurde. Ausgenommen hiervon waren die im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit einzuhaltenden Verformungsgrenzen, welche in der RVS 05.02.11 [7] wie folgt angegeben sind:
- Stiele am Kopf (in Quer und Längsrichtung): $H_S/150$
- Riegel vertikal: $L_R/200$
- Riegel horizontal: $L_R/200$ (ohne Berücksichtigung der gleichzeitigen Stielverformung)
- Überhöhung: Die Durchbiegung des Riegels aus vertikalen Eigenlasten ist durch Überhöhung auszugleichen, wobei eine verbleibende Überhöhung von $L_R/500$ einzurechnen ist.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) liegt die Auslastung des Riegels (B x H = 480 x 520 mm GL24h) unter 60% und jene der Stiele (B x H = 440 x 240 mm GL24h) unter 50%. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) liegt die Auslastung für den Riegel bei rund 40% und jene die Stiele bei rund 85%. Ausschlaggebend für die Wahl der Bauteilquerschnitte waren schlussendlich die geometrischen Voraussetzungen für die gewählten Verbindungen.

2.3.2. Verbindungstechnik

Im Wesentlichen wurden zwei für die Tragkonstruktion relevante Leitdetails ausgearbeitet: (i) der Anschluss zwischen den Stielen und der Fundierung bzw. dem Betonsockel sowie (ii) der biegesteife Anschluss zwischen den Stielen und dem Riegel.
Der Übergang zwischen den Stielen und dem Betonsockel (vergl. Abbildung 3) erfolgt über ein «echtes» Stahlgelenk, welches neben der klar definierten, statischen Funktion auch eine rasche Montage ermöglicht. Die jeweiligen Stahlteile wurden über im Fundament eingegossene Gewindestangen (auch als «Schraubgrund» bezeichnet) bzw. in den Stielen eingeklebte Gewindestangen befestigt. Neben der hohen Leistungsfähigkeit, bietet diese Art der Verbindung den bestmöglichen konstruktiven Schutz für den tragenden Holzkern (Abdeckung des Hirnholzes, keine seitlichen Öffnungen).

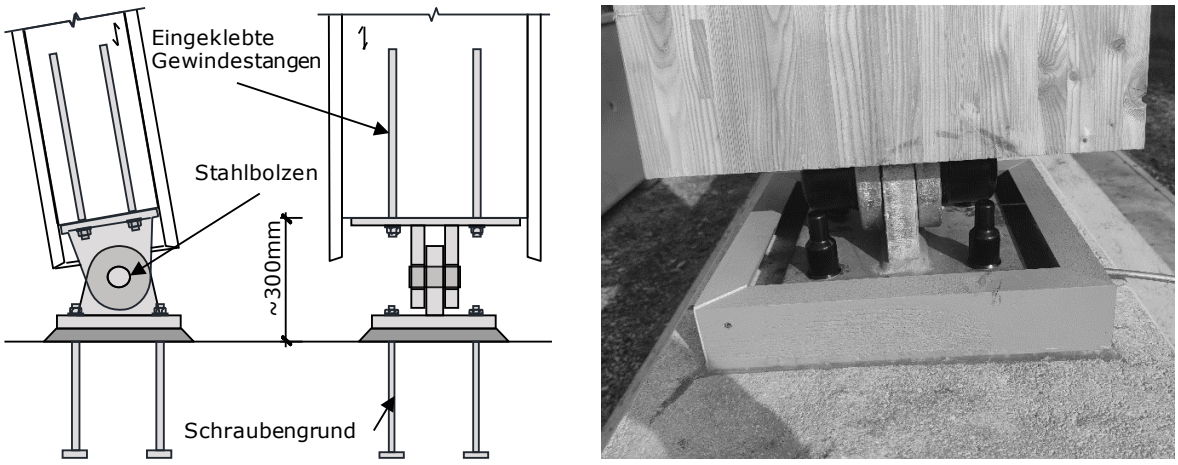


Abbildung 3: Fußpunkt

Der biegesteif auszuführende Übergang zwischen Stiel und Riegel (vgl. Abbildung 4) erfolgt ebenfalls über einen zweiteiligen Stahlknoten, wobei hier die Hauptbeanspruchung für die Verbindung aus dem zu übertragenden Stützmoment resultiert. Der Anschluss an die Stiele wurde dabei wiederum mittels eingeklebten Gewindestangen realisiert. Der Anschluss am Riegel erfolgte über Vollgewindeschrauben, welche aufgrund der wechselnden Momente sowohl für Zug- als auch Druckbeanspruchungen (Querdruckverstärkung) bemessen wurden. Die in Abbildung 4 ebenfalls ersichtliche Querzugverstärkung ist der Ausklinkungssituation bei einem negativen Lagermoment geschuldet. Die auftretenden Schublasten werden über die seitlichen Schubknaggen in die Stützen übertragen.
Die relativ hohen Lagerbacken aus Stahl haben im wesentlichen vier Funktionen: (i) Abstandhalter um die Montage des Stahl-Stahlanschlusses zu ermöglichen (ii) leichtere Inspektion des Lagerbereichs (iii) Sicherstellung der in der Bemessung angesetzten Hebelverhältnisse und (iv) Minimierung der Kontaktfläche zwischen Riegel und Stahlteil.

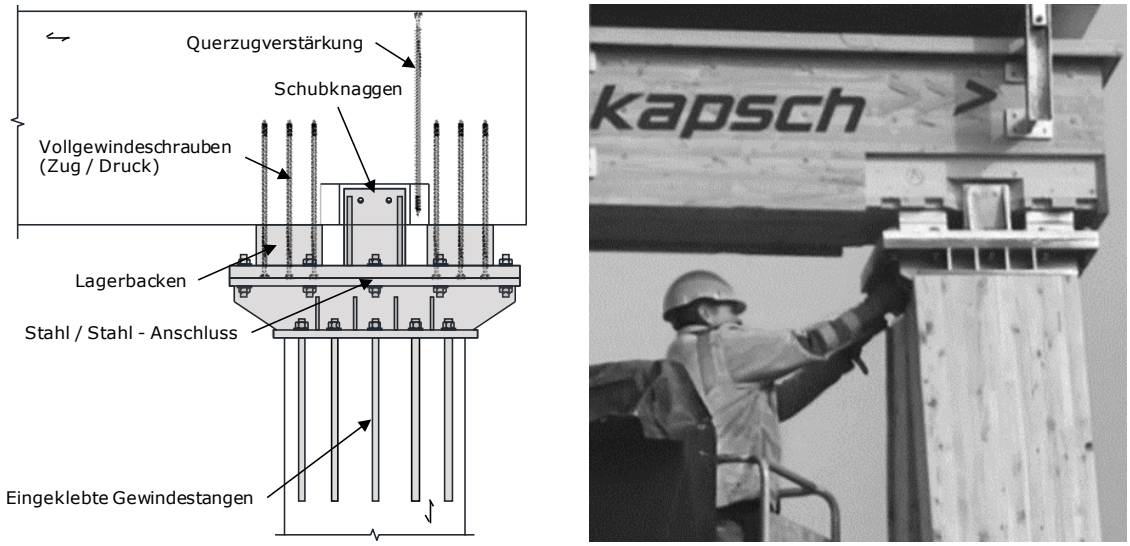


Abbildung 4: Biegesteifer Anschluss (Plandarstellung ohne konstruktiven Holzschutz)

Durch die gewählte Verbindungstechnik mit eingeklebten Gewindestangen und selbstbohrenden Holzbauschrauben, welche bereits im Werk vormontiert wurden, waren bauseits lediglich Stahlbauteile miteinander zu verbinden. Dadurch konnte die Montagezeit auf der Baustelle auf ein Minimum reduziert werden.

3. Wissenschaftliche Fragestellungen

3.1. Feuchteinduzierte Spannungen

Aufgrund der mit der Anwendung einhergehenden Exponiertheit der Gantry ist während der Nutzung mit erheblichen Holzfeuchtevariationen zu rechnen. Die durch diese Holzfeuchtevariationen auftretenden Quell- und Schwindverformungen führen durch die Anisotropie des Holzes und den i.d.R. nicht konstanten Holzfeuchteverlauf entlang des Querschnitts zu Zwangspannungen (vgl. [9], [10]). Gerade in Bereichen in denen Verbindungs- oder Verstärkungsmittel, etwa in Form von selbstbohrenden Holzbauschrauben oder eingeklebten Gewindestangen, angeordnet werden, ist durch den sperrenden Effekt dieser mit erheblichen Zwängungen sowohl im Verbindungs- bzw. Verstärkungsmittel als auch im umgebenden Holz zu rechnen (vgl.[11]-[16]). Aber auch durch die in Verbindungsknoten häufig notwendigen Stahlblechen ist mit einer gewissen Verformungsbehinderung zu rechnen. Durch die in der Gantry verbaute Messtechnik bestehend aus der in Abschnitt 4 beschriebenen Kombination aus Holzfeuchte-, Dehnungs- und Kraftmessung, ist es möglich, eine umfassende Datenbasis zu schaffen. Diese dient in weiterer Folge der Validierung von analytischen Modellen zur Beschreibung der entstehenden Zwangbeanspruchungen, welche im Rahmen dieses Projektes erarbeitet werden.

3.2. Dynamische Beanspruchungen von Verbindungen

Ein weiterer Themenblock befasst sich mit der Beschreibung des Verhaltens der Gantry-Konstruktion bei ermüdungswirksamer Beanspruchung, wobei sowohl die Einwirkungsseite (Ursprung der ermüdungswirksamen Beanspruchung) als auch die Widerstandsseite (insb. Tragfähigkeit der Anschlüsse) berücksichtigt werden. Auf der Seite der Einwirkung dient die Arbeit von Lengauer [1] aufgrund des zeitlichen und regionalen Bezugs als profunde Basis für die Bestimmung der Ursachen der ermüdungswirksamen Beanspruchung. Nachdem die GREEN_GANTRY und wahrscheinlich auch folgende Gantrys in Holzbauweise eine vom dort beschriebenen Stand abweichende Geometrie aufweisen, werden die von Lengauer [1] getroffenen Rückschlüsse für Stahlgantrys momentan für die gegebene Geometrie verifiziert und angepasst.
Auf der Seite des Widerstandes ist eine relativ große gegenwärtig vorhandene Wissenslücke im Bereich der hochleistungsfähigen Verbindungstechnik mit selbstbohrenden Holzbauschrauben oder eingeklebten Gewindestangen festzustellen. Im Projekt GREEN_GANTRY wird versucht, diese Wissenslücke mittels der Durchführung umfangreicher experimenteller Untersuchungen von dauerschwingbeanspruchten Verbindungen zumindest für die Anschlussknoten der Gantry-Konstruktion zu schließen. Gegenwärtig wird ein größeres experimentelles Programm, bestehend aus Dauerschwingversuchen von Stahlblech-Holz-Schraubenverbindungen mit dem Ziel einer Quantifizierung des entsprechenden Kerbfalles im Bautechnikzentrum der TU Graz umgesetzt. Weitere Untersuchungen zum Einfluss geometrischer und mechanischer Schraubenparameter auf die Performance bei ermüdungswirksamer Beanspruchung sind in Vorbereitung.

3.3. Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment)

Befasst man sich mit aktueller internationaler Literatur zum Thema Produktökobilanz einer Gantry, ist zu erkennen, dass sehr wenig Information hierzu vorhanden ist. Life cycle assessment (LCA) wird sehr häufig angewendet für die Bewertung der Umweltauswirkungen von Gebäuden, selten jedoch für Brücken oder brückenartige Konstruktionen. Meist werden dabei Holzkonstruktionen mit anderen Alternativen verglichen, wobei häufig die Holzkonstruktion das bessere Ergebnis liefert (vgl. [17]). Gantrykonstruktionen im Bereich des Straßenverkehrs haben aufgrund ihrer Menge einen signifikanten Einfluss auf Energie- und Materialverbrauch. Derzeit stehen jedoch die technischen, ökonomischen und sicherheitsbezogenen Aspekte im Vordergrund, während Umweltaspekte selten in die Entscheidungsfindung miteinbezogen werden [18]. Die Durchführung von LCA Studien im Bereich Materialtransport hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen, jedoch ist wenig Literatur zum Thema Güterumschlagtechnik vorhanden. Lediglich eine vergleichende LCA über konventionelle und elektrische Containerbrücken (Rubber Tired Gantry-Krane) konnte gefunden werden [19]. Da keine Daten aus früheren Studien herangezogen werden

können, muss eine Primär-Datenerhebung durchgeführt werden. Die zu untersuchenden Wirkungskategorien sind das Treibhausgaspotenzial, Eutrophierungs-, Versauerungspotenzial und der kumulierte Energieaufwand. Diese Erhebung dient als Eingangsbasis für die erstmalige Anwendung einer LCA für derartige Gantry-Konstruktionen, welche gegenwärtig erstellt wird.

4. Verwendete Messtechnik der Prototypenanlage

Um die Dauerhaftigkeit der Konstruktion sicherzustellen, besonders aber um die in Abschnitt 3 beschriebenen Forschungsthemen zu behandeln, wurde die Konstruktion mit einer umfassenden Messtechnik ausgestattet. Konkret befinden sich vorrangig im Rahmeneck, sowie in einem Stiel insgesamt 11 Holzfeuchtemesspunkte, 12 Dehnmessstreifen (DMS) zur Holzdehnungsmessung, 10 selbstbohrende Holzbaumessschrauben, 6 Kraftmessungen an eingeklebten Gewindestangen und 4 Messpunkte zur Kraftmessung in den Knotenblechen. Eine Übersicht ist in Abbildung 5 ersichtlich.

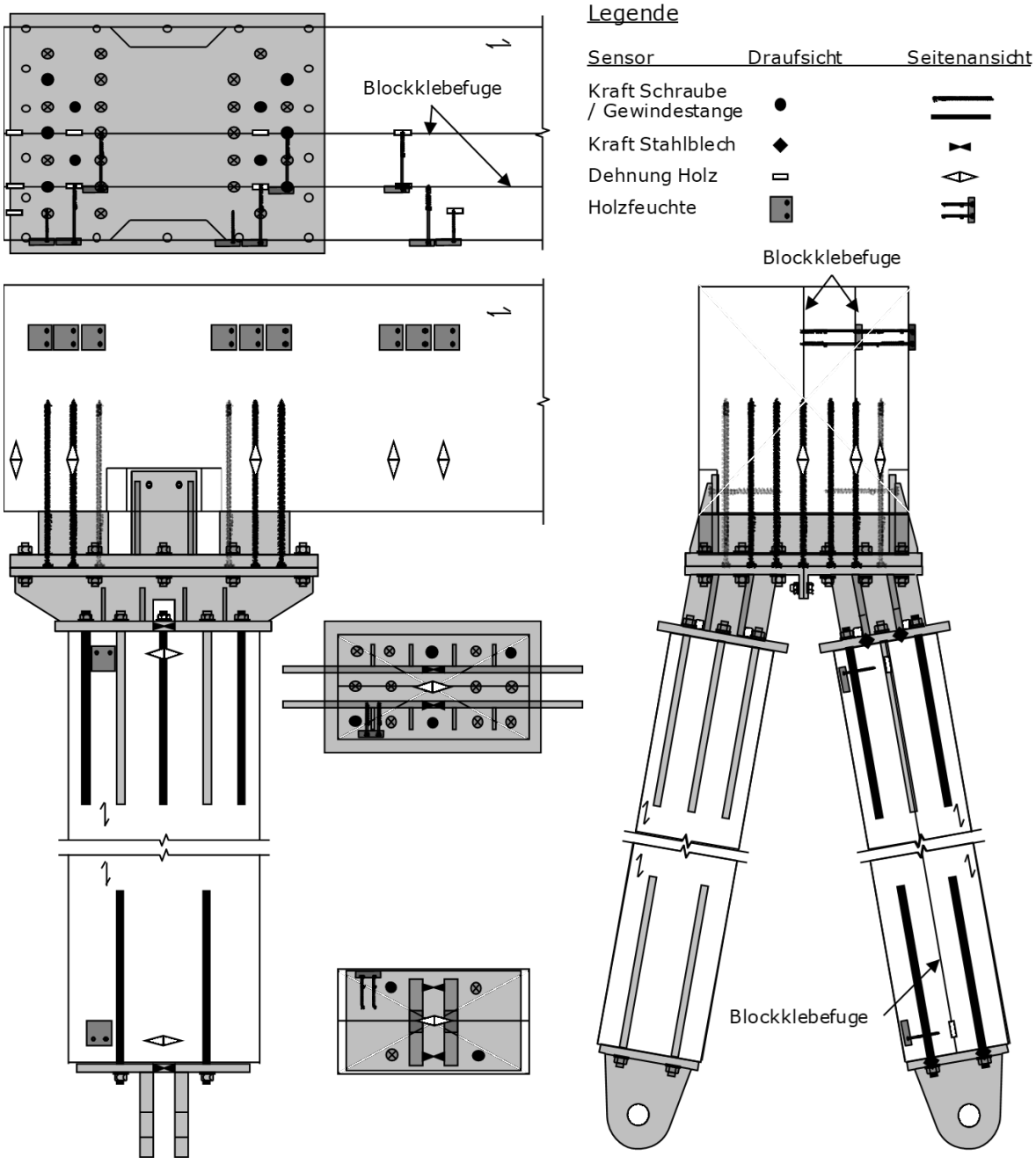


Abbildung 5: Übersicht Messpunkte

4.1. Dehnmessstreifen auf Holz

Zur Messung der entstehenden Quell- und Schwindverformungen im Holz wurden DMS am Holz appliziert, siehe Abbildung 6-a). Da die DMS im Querschnittsinneren angeordnet werden sollten, wurde der Hauptträger aus drei Teilquerschnitten und die Stütze aus 2 Teilquerschnitten gefertigt. Diese wurden daraufhin blockverklebt wobei die DMS selbst in den Blockklebefugen angebracht wurden (Abbildung 6-b)). Die Ausnehmungen für die Kabelführung, die DMS selbst sowie Brückenergänzungen, zur Kompensation der Leitungswiderstände, wurden im Abbund ausgefräst.
Die Anordnung erfolgte an folgenden neuralgischen Punkten im Hauptträger: in Hirnholznähe, im Bereich des Schraubenanschlusses und im ungestörten Bereich im Trägerinneren. Weiters wurde im Stiel im Bereich der eingeklebten Gewindestangen eine Dehnungsmessung appliziert.

4.2. Messschrauben

Zur Messung der entstehenden Schraubenkräfte wurden sogenannte Bolzen-DMS in einigen Schrauben der Verbindung angeordnet (Abbildung 6-c)). Diese wurden nach der Applizierung des Bolzen-DMS kalibriert. Dadurch ist es möglich, Rückschlüsse auf die axialen Kräfte in der Schraubenverbindung zu ziehen.
Die Bolzen-DMS befinden sich in einer zentrischen Bohrung unterhalb des Schraubenkopfes. Da einige Schrauben als Querdruckverstärkung dienen, konnten die Anschlusslitzen nicht gerade aus dem Schraubenkopf geführt werden, sondern seitlich mittels Schlitzfräsung. Eine punktverschweißte Unterlegscheibe diente als Fixierpunkt für den Steckverbinder, mit welchem nach dem Einschrauben das Kabel verbunden wurde. Für die Kabelführung war außerdem eine aufwändige Fräsung im Anschlussblech des Riegels notwendig, welche in Abbildung 6-d) ersichtlich ist.

4.3. Gewindestangen

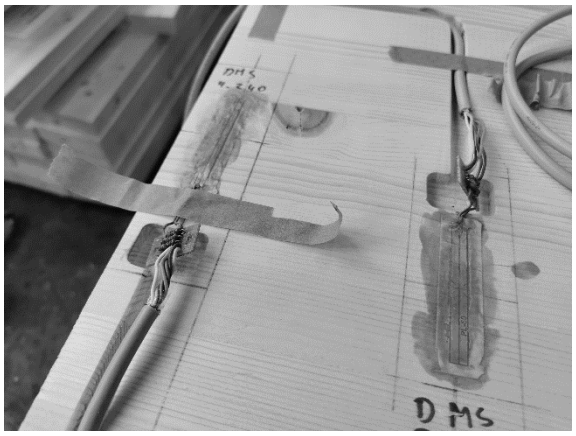
Ähnlich wie bei den Messschrauben wurden auch einige eingeklebte Gewindestangen im Stiel mit Bolzen-DMS zur Messung der axialen Kräfte verwendet. Diese wurden sowohl im Rahmeneckbereich als auch im Bereich des Fußpunkts angeordnet. Anders als bei den Messschrauben war hier die Litzenführung um einiges einfacher; sie konnten gerade aus dem Querschnitt geführt werden und wurden nach dem Anbringen der Stahlbleche mittels Steckverbinder verkabelt (Abbildung 6-e).

4.4. Kraftmessung an Stahlblechen

Obwohl eine Dehnungsmessung mittels DMS auf Holz möglich ist, kann aufgrund der stark streuenden und von der Holzfeuchte abhängigen Steifigkeitsparameter nicht, wie beispielsweise bei Stahl, auf die vorhandenen Spannungen rückgeschlossen werden. Deshalb wurde an den Knotenblechen des Stiels jeweils an zwei Messpunkten DMS-Rosetten verklebt. Durch diese werden die Kräfte in den jeweiligen Blechen aufgezeichnet, wodurch die im benachbarten Holz vorhandenen Kräfte abgeschätzt werden sollen.

4.5. Holzfeuchtemessung

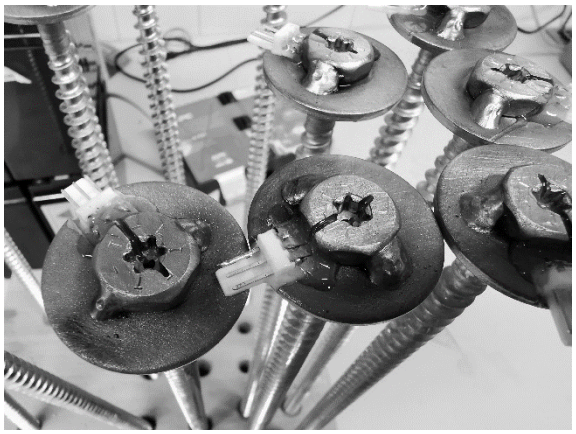
Zur Holzfeuchtemessung wurden Tron Humidity Sensoren (THS) der Firma tagtron gmbh verwendet (Abbildung 6-f). Das System basiert auf der elektrischen Widerstandsmessung, wobei als Messelektroden selbstbohrende Holzbauschrauben verwendet werden, welche entlang des Gewindes mit einem Schrumpfschlauch isoliert sind. Dadurch wird der elektrische Widerstand nur im Bereich der Spitze gemessen. Weiterer Bestandteil jedes Messpunkts ist eine Platine, auf welcher Sensoren zur Messung von Temperatur und relativer Luftfeuchte angeordnet sind.
Die Messtiefen der Holzfeuchtesensoren wurden dabei auf jene der Dehnungssensoren und Messschrauben abgestimmt. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf den Holzfeuchtegradienten sowohl entlang des Querschnitts, als auch entlang der Trägerachse ziehen. Die Positionierung der Messpunkte wurde dabei auf die Lage der DMS und Kraftmessschrauben abgestimmt.



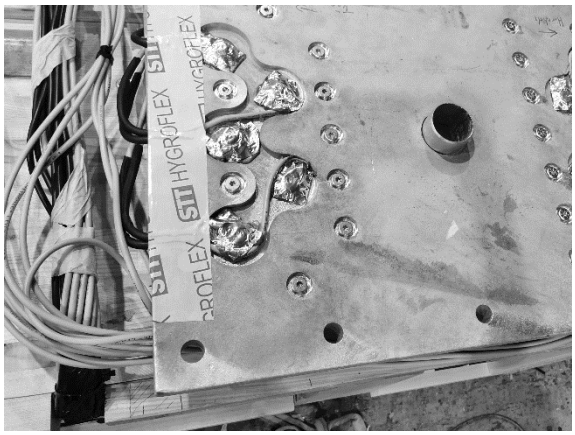
a) Applizierte Dehnmessstreifen auf Holz



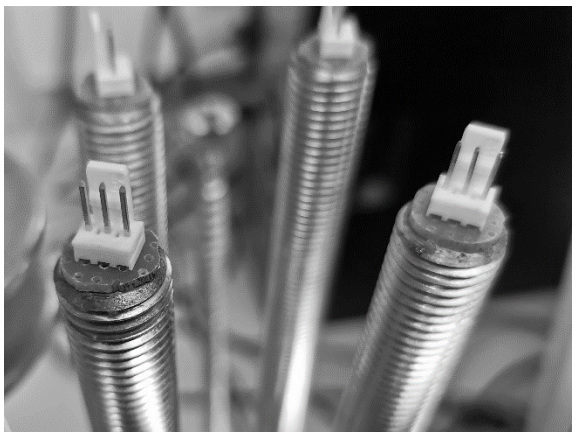
b) Blockverklebung des Riegels



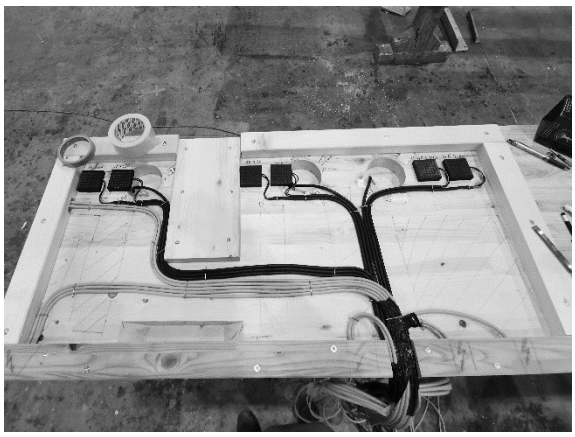
c) Schrauben zur Kraftmessung



d) Verschraubte Anschlussplatte



e) Gewindestangen zur Kraftmessung



f) Holzfeuchtemessung und Kabelführung

Abbildung 6: Detailansichten der verbauten Messtechnik

4.6. Resümee aus dem laufenden Messbetrieb

Nach bisher rund 6 Monaten Messbetrieb lässt sich ein sehr positives Zwischenfazit ziehen: Die Messsensorik funktioniert größtenteils einwandfrei und wurde auch bereits, neben der laufenden Aufzeichnung der Klimabeanspruchungen, im Arbeitspaket der ermüdungswirksamen Beanspruchungen eingesetzt. So erfolgte erst kürzlich eine Versuchsreihe an LKW-Durchfahrten mit dem Ziel, die auf die Verbindungen wirkende, ermüdungswirksame Beanspruchung zufolge des laufenden Verkehrs abzuschätzen. In Zukunft soll hier noch eine Synchronisation mit einer ebenfalls auf der Gantry installierten Wetterstation erfolgen, um die dynamische Beanspruchung bei Starkwindereignissen zu bestimmen.
Etwas gegen die Erwartungen entwickelt sich die Holzfeuchte; nach dem Einbau mit rund 12 % Holzfeuchte ist ein leichter Trend zur Austrocknung erkennbar. Dies deckt sich

jedoch mit den beobachteten Dehnungen im Holz, welche eine Schwindverformung des Querschnitts implizieren.
Abseits der primären Forschungsfragen des Projekts wird auch die Entwicklung der in den Verbindungsmitteln vorhandenen Vorspannkraft beobachtet. Sehr erfreulich zeigt sich hier, nach einem anfänglichen Abfall in den ersten Tagen nach Applikation, eine weitestgehende Konstanz.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Durch den Bau der ersten Gantry-Anlage in Holzbauweise soll das enorme Potential des Baustoffs Holz im Sinne einer vielseitigen Anwendbarkeit aufgezeigt werden. Durch eine wohlüberlegte konstruktive Ausbildung sollen so auch in exponierten Umgebungen die herkömmlichen Bauweisen in Beton oder Stahl durch leistungsfähige und dauerhafte Holzkonstruktionen substituiert werden können.
Durch die umfassende messtechnische Ausstattung der Gantry werden wertvolle Daten erwartet, mit denen die vorhandenen Wissenslücken im Bereich der feuchteinduzierten Spannungen und der dynamischen Beanspruchung von Verbindungen auch für andere Tragwerke geschlossen werden sollen. Auch der Ausgestaltung des konstruktiven Holzschutzes wurde durch eine Variantenstudie ebendieser besondere Aufmerksamkeit geschenkt, wodurch Vor- und Nachteile in Dauerhaftigkeit und Wartung offenbart werden sollen. Für die großflächige Anwendung von Holzgantrys im Straßenbetrieb sollen die Erkenntnisse aus der laufenden LCA den ökologischen Vorteil des Baustoffs Holz gegenüber der bisher zur Anwendung kommenden Bauweise in Stahl quantifizierbar machen. Langfristig soll so durch die Symbolwirkung eines exponierten (und funktionierenden) Holztragwerks das Bewusstsein über die vielseitige Anwendbarkeit von Holz in der Gesellschaft noch weiter verankert werden.

6. Danksagung

Die Grundlagen des vorliegenden Beitrags wurden hauptsächlich im Rahmen des Forschungsprojektes FFG THINK.WOOD «GREEN_GANTRY» (No. 43511322) erarbeitet. Dieses Projekt wird aus Mitteln des Waldfonds, einer Initiative des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft gefördert und im Rahmen des Programms Think.Wood der Österreichischen Holzinitiative durchgeführt. Diese Unterstützung wird dankend erwähnt.

7. Quellenverzeichnis

[1] Lengauer, Markus: Schwingungsreduktion von Überkopfkonstruktionen, Bericht zum FFG-Projekt, Graz, 2014.

[2] Schimpf, Markus: Eingklebte Gewindestangen in der Praxis – Neubau Hochregallager der Salinen AG in Ebensee, Beitrag im Rahmen der 6. GraHFT'07, Graz, 2007, Seiten J-1 bis J14.

[3] Referenzen der Firma Obermayr Holzkonstruktionen GmbH: Alpensilo. From https://www.obermayr.at/alpensilo/referenzen/alpensilo| Zugriff am 20.10.2023

[4] ON B 3802-1:2015 – Holzschutz im Bauwesen | Teil 1: Allgemeines

[5] EN 335:2013 – Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Gebrauchsklassen: Definitionen, Anwendung bei Vollholz und Holzprodukten

[6] ON B 3802-1:2015 – Holzschutz im Bauwesen | Teil 2: Baulicher Schutz des Holzes

[7] RVS 05.02.11 Anforderungen und Aufstellung (August 2019)

[8] ON B 1995-1-1:2019 – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau

[9] Angst-Nicollier, Vanessa: Moisture Induced Stresses in Glulam, Dissertation, NTNU Trond-heim, 2012.

[10] Franke, Bettina; Franke, Steffen; Schiere, Marcus; Müller, Andreas: Moisture content and moisture-induced stresses of large glulam members: laboratory tests, in-situ measurements and modelling, Wood Material Science & Engineering 14 (2019), 243-252.

[11] Angst, Vanessa; Malo, Kjell Arne: Effect of self-tapping screws on moisture induced stresses in glulam, Engineering Structures 45 (2012), 299-306.

[12] Dietsch, Philipp: Effect of reinforcement on shrinkage stresses in timber members, Construction and Building Materials 150 (2017), 903-915.

[13] Dietsch, Philipp: Einsatz und Berechnung von Schubverstärkungen für Brettschichtholzbauteile, Dissertation, TU München, 2012.

[14] Dietsch, Philipp; Kreuzinger, Heinrich; Winter, Stefan: Effects of changes in moisture content in reinforced glulam beams, in: Proceedings of the World Conference on Timber Engineering WCTE 2014, Quebec, Canada.

[15] Glasner, David: Zum Quelldruckverhalten von geschraubten Holz-Stahlblech-Verbindungen unter Berücksichtigung einer Schraubenvorspannung, Masterarbeit, TU Graz, 2020.

[16] Wallner, Bernhard: Versuchstechnische Evaluierung feuchtinduzierter Kräfte in Brettschichtholz verursacht durch das Einbringen von Schraubstangen, Masterarbeit, TU Graz, 2012.

[17] Peñaloza, D.: Life cycle assessment of small road bridges: Implications from using biobased building materials. Conference: Sustainable Built Environment: Strategies, Stakeholders, Success factors. Hamburg. Volume SBE2016.

[18] Du, G.: Life cycle assessment of bridges, model development and case studies. Doctoral Thesis. Department of Civil and Architectural Engineering, KTH Royal Institute of Technology, 2015.

[19] Vujičić, A., Zrnić, N., Jerman B.: Ports Sustainability: A life cycle assessment of Zero Emission Cargo Handling Equipment. Journal of Mechanical Engineering 59(2013)9, 547-555.

Block B

Redundante Tragwerke / Hallenbauten

Einführung in redundante Tragwerke Beispiel Balken- und Fachwerkroste

U. Prof. Michael Flach
Universität Innsbruck
Innsbruck, Österreich



Einführung in redundante Tragwerke Beispiel Balken- und Fachwerkroste

1. Einführung

Redundanz oder redundant bedeutet nach dem lateinischen Begriff «redundantia» Überfluss und bezeichnet im technischen Sinn die Fähigkeit von Tragwerken im Grenzzustand zusätzliche Tragreserven zu mobilisieren. Es handelt sich dabei keineswegs um etwas Überflüssiges oder Verschwenderisches, sondern um die Fähigkeit im Notfall, insbesondere im Versagensfall, die Tragfähigkeit eines einzelnen Trägers zu erhöhen indem er einen Teil der Lasten an benachbarte Träger überträgt, um sich die Tragfähigkeit des Gesamtsystems zu Nutze zu machen. Ähnlich wie ein gesellschaftliches Sozialsystem unterstützen die stärkeren Einzelbestandteile einer Gruppe die Schwächeren und sorgen im Notfall für zusätzliche Sicherheit. Es handelt sich um ein Grundprinzip der Natur, das es insbesondere den Bäumen erlaubt hat über Hunderte Millionen von Jahren Existenzbedrohungen zu überstehen. Ohne diese Fähigkeit Gefahren kollektiv zu begegnen wären die Bäume heute vermutlich ausgestorben. Ähnlich verhält es sich für die Menschheit im Angesicht des Klimawandels: gemeinsam sind die Chancen höher die bevorstehenden Herausforderungen zu bewältigen.
Als einfaches Beispiel aus der Tragwerklehre verfügen statisch bestimmte Einfeldträger über kein redundantes Tragwerksverhalten. Sie sind im Versagensfall auf sich alleine angewiesen und tragen nur so viel wie es ihre individuelle Tragfähigkeit erlaubt. Ihr Versagen erfolgt, von kleineren Umlagerungen der Spannungen im Versagensquerschnitt abgesehen, ohne Vorankündigung. Als Beispiel für redundante Tragsysteme möchte ich hier Trägerroste vorstellen, die im Gegensatz zu einachsigen Einzelträgern, Lasten in zwei Richtungen abtragen und somit eine Verknüpfung von unterschiedlichen Trägern schaffen.

2. Olympischen Sommerspiele in Paris 2024

Aktueller Anlass dieser Themenwahl in Bezug auf weitgespannte Tragsysteme ist für mich die anstehende Sommerolympiade in Paris 2024. Weiträumige Dachtragwerke überspannen Tribunen für Tausende von Zuschauern, so dass man sich zumindest die Frage stellen sollte, welche Folgen die Wahl eines Tragwerks auf die Sicherheit bei Menschenansammlungen haben könnte. Was passiert, wenn ein einachsig gespannter Träger versagt und unwiderruflich auf die darunter sitzenden Zuschauer stürzt? Wie könnte man das Versagen eines Einzelträgers abfedern, um zumindest ein vorangekündigtes Systemversagen mit deutlich höheren Tragreserven zu fördern, so dass Zeit bleibt Zuschauer rechtzeitig zu evakuieren? Abgesehen von Tragreserven handelt es sich aber auch um die Effizienz von Holzbauten, wenn es darum geht ressourcenschonend zu bauen. Einfache Konstruktionen aus massiven Einfeldträgern mögen hinsichtlich Planung und Montage gegenüber Raumtragwerken kostengünstiger sein, aber sie verbrauchen mehr Ressourcen und dies in einer Zeit, wo auch der Holzbau angesichts des wachsenden Schadholzanteils bei der Holzernte mit der Verknappung seiner Vorräte kämpft. Davon abgesehen führen lineare einachsige Tragsysteme zu Unverträglichkeitsproblemen zwischen Randträgern und Giebelwänden: Die Verbindung von Bauteilen mit stark unterschiedlichen Steifigkeiten erfordert aufwendige Lösungen mit Gleitlagern, die langfristig störungsanfällig sind und die Luftdichtheit von Gebäuden reduzieren.

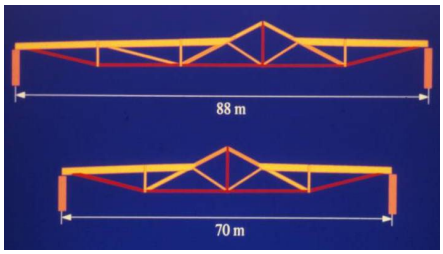


Abbildung 1: St. Gratien Eaubonne, Aufriss zweier sich kreuzender Hauptträger

Als alternativer Lösungsansatz zu einachsigen Tragsystemen sei hier die Indoor-Leichtathletik Halle in St. Gratien Eaubonne, F vorgestellt, die 1996 mit dem European Glulam ausgezeichnet wurde. Sie soll während der olympischen Spiele 2024 in Paris als Trainingszentrum benützt werden. Das 6500 m² große Dach wird von einem Fachwerkrost getragen, das zweiachsig orthogonal ausgerichtet und diagonal bis zu 88 m weit gespannt ist. Die einzelnen Träger des Holz-Stahl-Fach-werks folgen im Aufriss einer Geometrie, die der Eigen- bzw. der Minimalform eines unterspannten Einfeldträgers mit Einzellasten entspricht, so dass eine Biegemomentenbelastung der Ober- und Untergurte weitgehend vermieden wird.

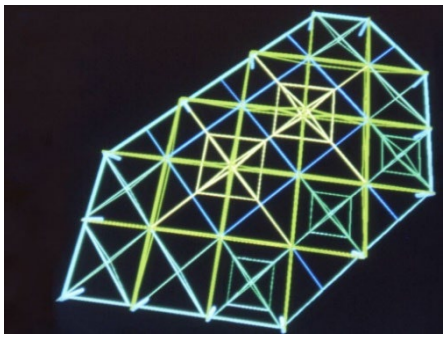


Abbildung 2: Grundriss des diagonalen Haupt- (gelb) und Sekundärtragwerks (blau)

Die Verknüpfung der gekreuzten Trägerscharen erfolgt in den Knotenpunkten zwischen den Gurten mit reinen Zug- (in Stahl) und Druckanschlüssen (in Holz). Somit können alle Knotenlasten, die durch das ebenfalls zweiachsig gespannte Sekundärtragwerk übertragen werden, in zwei orthogonale Richtungen abgeleitet werden. Die Verteilung der Lasten erfolgt in Abhängig der Steifigkeiten und der jeweiligen Tragfähigkeit der Trägerscharen. Die Lichtpyramiden wurden so in das Tragwerk integriert, dass sie in Feld-mitte eine zusätzliche statische Höhe beisteuern. Die Verträglichkeit der Verformungen zwischen dem Tragwerk und den Fassaden ist durch die räumliche Verteilung der Lasten gewährleistet.



Abbildung 3: Innenansicht mit den Tribünen der Indoor-Leichtathletikhalle in Saint Gratien Eaubonne, F 1995
Architekten: Gouget, Villette und Banasevic, Ingenieure ; ICS-BOIS Sarl Flach & Natterer associés

3. Trägerroste SMART TIMBER GRID

Ein weiterer Anlass Trägerroste vorzustellen war das jüngste Forschungsprojekt der Universität Innsbruck mit dem Titel «smart timber grid». Es handelt sich um Trägerroste aus gekreuzt gestapelten Balkenlagen für die Überdachung von Parkplätzen. Das vor kurzem genehmigte und gestartete Projekt verfolgt drei Zielrichtungen:

- Die Erhöhung der Effizienz bzw. der Tragfähigkeit von Tragwerken in Holz mit Hilfe von Redundanz um Lasten auf zwei Wegen zu den Auflagern zu leiten.
- Die Förderung der Wertschöpfung von klein- und mittelständigen Betrieben durch die verstärkte Nutzung von kleinen Massivholzquerschnitten aus lokalem Holz.
- Entwicklung von nachhaltigen und kostengünstigen Tragwerken für die Überdachung von Parkplätzen, um begrünte Dachflächen, eine Ausstattung mit Photovoltaik und eine Beschattung von versiegelten Flächen zu vereinen.

Im Mittelpunkt steht ein Konstruktionsprinzip, das ursprünglich von Julius Natterer entwickelt wurde. Seine Idee beruhte darauf standardisierte Massivholzquerschnitte in zwei Trägerscharen durch das Stapeln von gekreuzten Massivholzquerschnitten anzuordnen. Verwendet man Bretter handelte es sich dabei um die bekannten Brettstapel-Rippenschalen, die 1980 zum ersten Mal mit dem «Polydôme» an der EPFL in Lausanne realisiert wurde.



Abbildung 4: Werkhalle in Saint Jean de Soleymieux; F 1993

Stapelt man quadratische Massivholzquerschnitte, entstehen Balkenroste. Sie wurden zum ersten Mal 1992 im Rahmen des Cours Postgrades an der EPFL in Lausanne angedacht. Der Vorschlag, Balken zu Rosten zu stapeln, war damals neu und wurde deshalb als Pilotprojekt wissenschaftlich und im Rahmen von Laborprüfungen an der EPFL untersucht. Die Umsetzung (siehe Bild links) erfolgte dann mit einem der Teilnehmer des Kurses, Olivier Gaujard, der das erste Balkenrost aus gestapelten Massivholzquerschnitten für die Überdachung einer quadratischen Werkhalle von 24 x 24 m seiner Zimmerei in Saint Jean de Soleymieux, F realisierte.

Mit unserem Ingenieurbüro ICS-Bois entwickelten wir dieses Prinzip zwischen 1993 und 1995 weiter und realisierten diverse Balkenroste, wie die sichtbare Dachkonstruktion für ein Hotel in les Arcs 1800, F und eine 1100 m² Werkhalle auf dem Experimentalgelände in Cantercel, F.



Abbildung 5: Hotel les Arcs 1800, F 1993



Abbildung 6: Werkhalle am Experimentalgelände in Cantercel, F 1995

Alle Studien stützten sich auf Laborversuche an der EPFL, die von einer relativ hohen Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel ausgingen, was eine Reduktion des ideellen Querschnitts von 30-35% bedeutete. Entsprechende Verformungsmessungen an den besagten Projekten bestätigten diese Werte.

Eine neue Perspektive zur Steigerung der Effizienz dieses Tragsystems zeichnet sich in den letzten Jahren ab, als die Firma Rothoblaas an Herrn Dr. Roland Maderebner, Wissenschaftler an der Universität Innsbruck, herantrat, um einen neuen aus der Luftfahrt kommendes Konnektor mit dem Namen «Sharp» auf dessen Einsatzmöglichkeit und die Leistungsfähigkeit wissenschaftlich zu untersuchen. Die Testergebnisse bestätigten tatsächlich, dass nicht nur die Tragfähigkeit deutlich höher ist, sondern auch dass die Nachgiebigkeit, der sogenannte Schlupf, deutlich geringer ist als bei herkömmlichen Verbindungsmitteln. Es lag daher nahe diese positiven Erkenntnisse dazu zu nutzen, die Leistungsfähigkeit des bisherigen Balkenrosts deutlich zu verbessern und für den Einsatz zur Unterstützung von Photovoltaikanlagen zu optimieren.

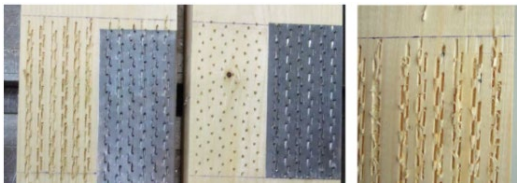


Abbildung 7: Sharp Verbinder im Versuch an der UI

Neben den obengenannten Zielen geht es bei diesem Forschungsprojekt vor allem darum das Potential der Redundanz zu nutzen, um sicherer, ressourcenschonender und nachhaltiger zu bauen, und somit den Einsatz von Photovoltaikanlagen in Verbindung von Verschattung und Begrünung zu erhöhen, ohne zusätzliche Naturflächen zu verbauen.



Abbildung 8: Balkenrost zur großzügigen schattenspendenden Überdachung mit vorgespannten Dachmembranen, die sich bei Bedarf streifenweise auswechseln lassen. Cantercel 1995, Architekt: Jean-Pierre Campredon
Entwurf, Berechnung und Errichtung: Michael Flach, Jaques Anglade und Olivier Gaujard

4. Ausblick auf 2-achsige gespannte Deckensysteme

Neben redundanten stabförmigen Tragwerken wie Balkenroste oder Rippenschalen, lässt sich die Redundanz auch in flächenförmigen Tragelementen aus Holz wiederfinden. Bestes Beispiel ist die großformatige Brettsperrholzplatte, auch CLT genannt, um auf die gekreuzte Anordnung der Lagen zu verweisen. Der wichtigste Grund für die zweiachsige Anordnung der Bretter war ursprünglich die Sperrwirkung zwischen den Lagen untereinander, damit eine hohe Formstabilität gewährleistet ist. Es entsteht aber vor allem ein redundantes System, das auf zwei Phänomene zurückzuführen ist: Einerseits ist es die kontinuierliche Verbindung zwischen den Brettlagen untereinander (das gilt übrigens auch für Brettstapeldecken). Andererseits sind die Brettlagen in 2 unterschiedlichen Richtungen

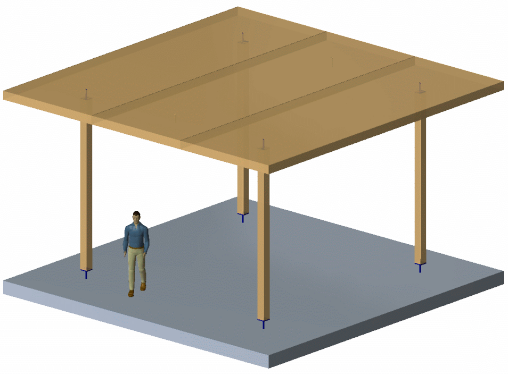


Abbildung 9: punktgestützte Flachdecke

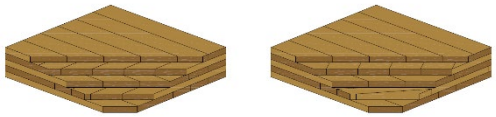


Abbildung: 10 CLT (links) und DLT Panel (rechts)

gespannt, so dass Lasten in 2 Richtungen abgeleitet werden können. Wichtige Anwendungen sind punktgestützte Flachdecken in Holz mit quadratischen Stützenraster. Ziel dieser Bauweise ist es niedrigere Deckendicken zu erzielen, indem man auf die Balkenlage verzichtet, so dass Durchdringungen mit Installationsleitungen vermieden werden. Vorrausetzung war die Entwicklung eines Systemverbinders, der den Widerstand gegen Durchstanzen wesentlich erhöht. Ergebnis war der von Dr. Roland Maderebner und Dr. Bernhard Maurer entwickelte «Spider». Damit war es möglich Rastermasse von bis zu 7 x 7 m zu erreichen. Ein weiterer Schritt der Entwicklung einer optimalen Flachdecke beruhte in der Adaptierung der Steifigkeitsverhältnisse zwischen den beiden Brettscharen, um eine gleichmäßige Lastverteilung zu gewährleisten. Letztendlich wurde ein völlig neues Produkt wie die DLT (diagonal laminated timber) Platte entwickelt.

5. Schlussfolgerung

Redundanz ist ein Naturprinzip zur Steigerung der Effizienz von Systemen aller Art, insbesondere der von Tragwerken. Durch die weitgehende Verwendung von ein- oder zweidimensionalen Tragwerkskonzepten wurde dieses Prinzip jedoch immer mehr vernachlässigt, weil es darum ging die wirtschaftliche Rentabilität durch Vereinfachung der Planung und Fertigung zu fördern. Dass dabei nicht nur die Leichtigkeit und Eleganz räumlicher Strukturen verloren geht, sondern auch die Resilienz und die Robustheit von Bauwerken, ist bedenklich, vor allem wenn es darum geht Menschen zu beschützen, die sich bei Massenveranstaltungen wie den olympischen Spielen darunter aufhalten. Dieser Vortrag soll Ingenieurinnen und Ingenieure dazu anregen nicht nur möglichst einfach zu konstruieren, sondern smarte, anmutige und nach dem Vorbild der Natur effiziente ressourcenschonende Tragwerke zu entwickeln, nach dem mahnenden Leitprinzip der Natur «wer verschwendet, der verschwindet».

6. Veröffentlichungen

[1] Large scale timber architecture, Japanese architecture review, Saint Gratien, centre départemental de formation d'animation sportive, Seite 20-23 Japan, 1995

[2] European Gluelam Award 1996, Brochüre der ausgezeichneten Projekte, Seite 24 und 25

[3] Dossier Technique, le Moniteur des travaux publics et du bâtiment, charpente tridimensionelle de 6300m² mixte bois /acier Paris 1/1996 Seite 73

[4] Grandes structures novatrices en France, ESB 1999 le bois dans la construction, M. Flach & C. Frenette, Seite 41 – 45

[5] Französische Innovationen, Holzbau-Magazine, 2000, Seite 36 und 36, Atelier in Cantercel

[6] Vom Experiment zum Tragwerk, Vortrag und Tagungsband zur Werkhalle in Cantercel, Michael Flach, SHI Tagung Weinfelden 2004

[7] Smart Timber Grids, Forschungsantrag der Universität Innsbruck bei der Tiroler Innovationsförderung 2023, Michael Flach und Roland Maderebner

Reciprocal Frame Roof of the Events Beacon for a Tech Office Building in California

Eric Karsh
EQUILIBRIUM Consulting Inc.
Vancouver, Canada



Reciprocal Frame Roof of the Events Beacon for a Tech Office Building in California

1. Introduction

This reciprocal frame roof is part of a larger project consisting of two adjacent buildings located on the campus of a global technology giant in Sunnyvale California.

The first building is a six storey, 29,000 m^2 mass timber office structure which includes a large single storey cafeteria to the north, and an 1,800 m^2 double height, single storey event space called the Events Beacon to the south. The Events Beacon is designed to host the company's TED style presentation events. The roof of the Events Beacon consists of a reciprocal frame which is the subject of this presentation.

The second building is a 3,000 m^2 mass timber fitness centre, which consists of a double height space along the front façade and a mezzanine along the back.

2. Project Context

The Events Beacon is a 7m tall, single-storey rectangular volume abutting the office building to the north. It houses a large open presentation space to the east and the main entrance to the building to the west. The space is surrounded by 1.8 to 2.8m long load bearing CLT blade wall elements which are oriented at 45 degrees to the building edge on a 2.1m spacing. The wall elements are connected by glazing, creating a dynamic sawtooth shaped façade, with controlled sun ingress into the presentation space while offering a connection to the outside. The reciprocal frame roof extends continuously over the event space and main entrance to the building.

One of the main programming requirements for the Events Beacon was to maximize flexibility by minimizing the number of interior columns. The architect also expressed an interest in a 45-degree two-way grid structure, also with a 2.1m element spacing, which would relate to the perimeter blade walls.



Figure 1: Overall view of the office building with the Events Beacon in the foreground; Credit: Equilibrium.

While a simpler one-way beam structure running at 45 degrees with non-structural bridging elements would have achieved a similar effect, we proposed a reciprocal frame solution to achieve a shallower, more «honest» and true two-way system. Another key advantage

of the reciprocal frame solution is that all connections are in shear, avoiding the introduction of hundreds of moment connections which would have added significant cost and complexity. The reciprocal frame, made entirely of 4.2m elements, also avoided the need and additional cost of trucking 39m long glulam beam elements from British Columbia to California.

3. The reciprocal frame

The 1,800 m^2 flat reciprocal frame consists of over 250 elements, most of which are 4.2 m long, oriented at 45 degrees on a 2.1 m grid spacing. The grid elements align with the ends of the perimeter load-bearing blade walls. The decking consists of 5 ply, 139 mm thick CLT (Cross Laminated Timber) panels spanning between the grid elements and provides the lateral load resisting diaphragm. The entire grid is overbuilt with 15 cm deep blocking which is cut out as needed to allow services through.



Figure 2a: Exterior view of the reciprocal frame during construction; Credit: XL Construction.

The supports for the grid consist of the perimeter CLT blade walls, two shallow cambered upstand steel box beams which hang the grid from above, and two steel columns concealed in the storage room partition walls at the east end of the space.

To optimize the two-way grid structure, the rectangular roof plan was roughly divided into two square areas with the introduction of a cambered upstand steel beam above the roof plane. At the south-west edge of the grid, the blade columns create a funnel shaped novation and opening leading to the main entrance to the building, leaving the south edge of the frame unsupported over a 21 m span. A second cambered upstand steel beam was then introduced to support that free edge of the grid. Also, two steel tube columns were introduced within the partitions of the storage room in the eastern half of the space which is larger and has significantly longer spans than the west half of the roof.



Figure 2b: Interior view of the reciprocal frame during construction; Credit: Equilibrium.

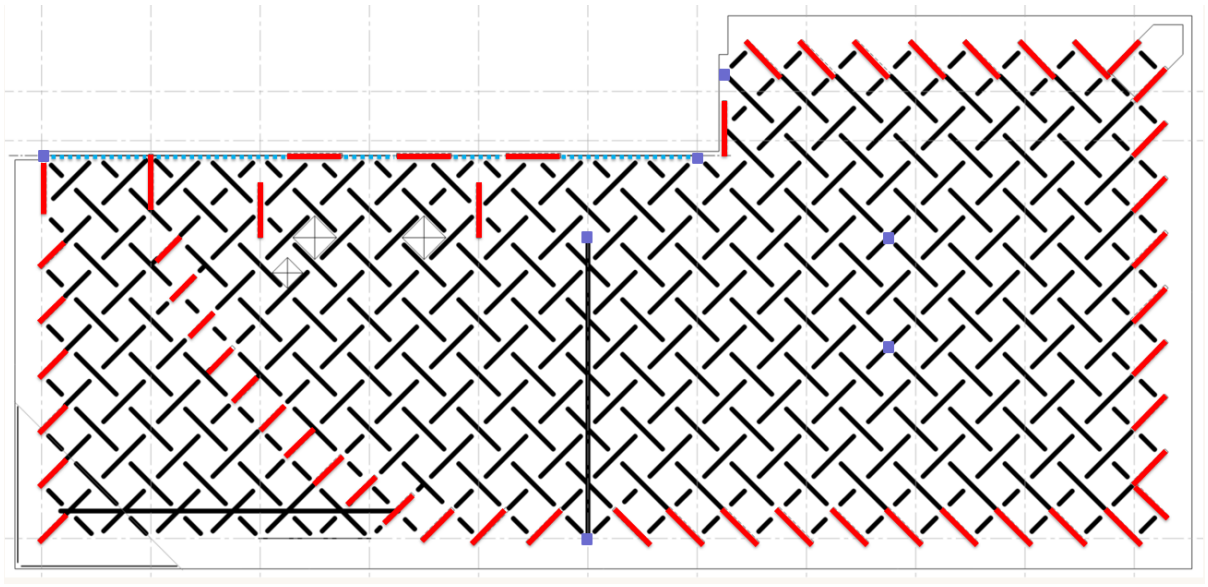


Figure 3: Plan view of the reciprocal frame showing the supports; Credit: Equilibrium.

4. Connections

Reciprocal frames consist of short elements which depend on each other for supports and the frame is unstable until it is completed. Hence the name «reciprocal». For this reason, one downside to reciprocal frames id that they must be shored. Also, because the two-way reciprocal frame is continuous over the irregularly distributed supports, connection loads vary significantly and often reverse as the grid approaches support points.

The initial concept for the connections consisted of custom «Z» shaped hangers, designed for different load ranges and which could be installed on the beam ends in the shop and easily reversed where required. This approach would have allowed for a relatively simple installation procedure.

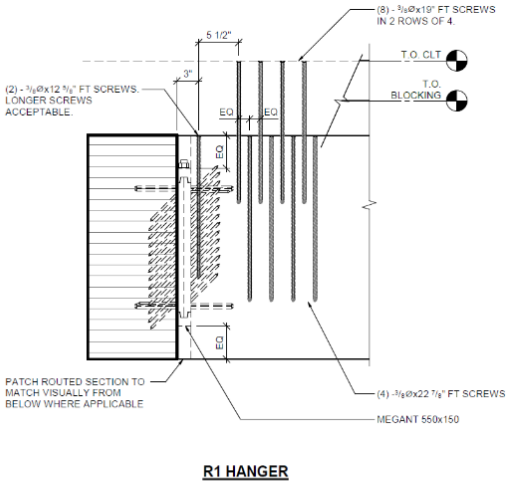


Figure 4: Typical reciprocal frame connection detail; Credit Equilibrium

At some point during the design however, the effects of shrinkage at the connections were assessed. While shrinkage effects in «Z» type hangers are not an issue in most structures, the effects are significant here due to the reciprocal accumulation of shrinkage through hundreds of mutually dependant connections. Our estimate of the overall impact on the deflection of the grid was estimated to be in the order of 10cm, which was excessive.

We therefore switched to a connection system that joined the beams to each other at the centreline, eliminating shrinkage effects from beam to beam. Ricon connectors would have been the most economical but could not be installed in a closed loop and installed from the top. We therefore settled on Megant connections, as they can be installed from the side and allowed us to close loops within the reciprocal frame.

5. The Upstand Beams

The depth of the two strategically located upstand beams was limited as they are visible above the low Beacon roof from the adjacent office building. With spans of up to 21 m and a maximum depth of 40 cm, the beams are cambered 6 and 8 cm respectively to reduce the predicted overall deflection of the reciprocal frame. This allowed us in turn to reduce the maximum deflection of the roof from about 10cm to 4cm.



Figure 5: Upstand beam hanger detail with load cells; Credit: Equilibrium.



Figure 6: Load cell data aquisition; Credit: Equilibrium.

The upstand beams were effectively designed as springs to be preloaded through a carefully planned sequence as the grid lay flat on the shoring towers, to achieve a zero deflection condition along the beamlines, mimicking a rigid support at those locations.

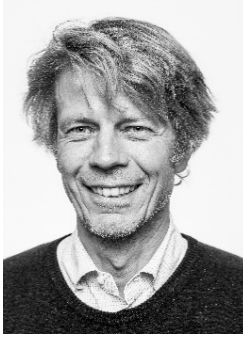
An extensive and complex sequential analysis of the upstand beam preloading and grid de-shoring procedure was carried out to ensure that the grid elements and connections would not be overstressed. The threaded rods hanging the grid from the upstand beams, as well as several strategically selected shoring tower legs were instrumented with load cells which were connected to a laptop located on the roof. This allowed us to carefully monitor load levels in real time at each stage of the procedure and compare in-situ load readings with the predicted values obtained from the preloading and de-shoring analysis.

Data processing software, which we developed specifically for this purpose, allowed us to update our preloading and de-shoring models on the fly and update our analysis and make adjustment in real time.

This grid is to our knowledge one of the largest flat reciprocal frame structures in the world. As a prominent feature in a space designed to promote the exchange of ideas, it embodies our client’s promotion of innovation and their emerging commitment to more sustainable construction.

Ressourceneffiziente Segmentschalen aus Holz

Jan Knippers
Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland



Ressourceneffiziente Segmentschalen aus Holz

Der Baustoff Holz spielt als temporärer CO_2 Speicher und vor allem als Ersatz für den emissionsintensiven Baustoff Beton und eine besondere Rolle auf dem Weg zum klimaneutralen Bauen, da der genauere Blick in die Verursacherströme zeigt, dass der größte Anteil an CO_2 Emissionen, die mit dem Bauen verbundenen sind, auf die Herstellung von Zement und anderen mineralischen Bindemitteln zurückzuführen ist [1]. Inzwischen belegen sehr viele Studien die ökologischen Vorteile des Holzbaus bei Geschossbauten, Wohnhäusern und ähnlichem, so dass in diesen Fällen dem Holzbau der Vorzug gegeben werden sollte [2].

Der Holzbau hat in den letzten Jahren durch einige viel publizierte Bauwerke gezeigt, dass es auch für große und hohe Geschossbauten geeignet ist. Gleichzeitig zeigt sich aber auch, dass der Baustoff Holz noch nicht die gleichen konstruktiven Gestaltungsspielräume ermöglicht, wie Stahl oder Beton. Holzbauten sind meist auf regelmäßige Stützenraster, vorwiegend einachsig spannende Deckensysteme und eher mäßige Spannweiten beschränkt [3].

Übergeordnetes Ziel der an der Universität Stuttgart entwickelten Segmentschalen ist daher zu zeigen, wie mittels integrierter digitaler Planungsmethoden und robotischen Fertigungsprozesse dem Holzbau neue Anwendungsfelder erschlossen werden, sowohl was die Komplexität der Geometrie als auch die Leistungsfähigkeit bzw. Spannweite angeht. Die an der Universität Stuttgart entwickelten Methoden und Prozesse sind so gestaltet, dass sie auch von der mittelständisch und handwerklich geprägten Holzbauindustrie genutzt werden können, und zwar in einem wirtschaftlich vertretbaren Rahmen.

1. Der Holzpavillon für die BUGA 2019 in Heilbronn

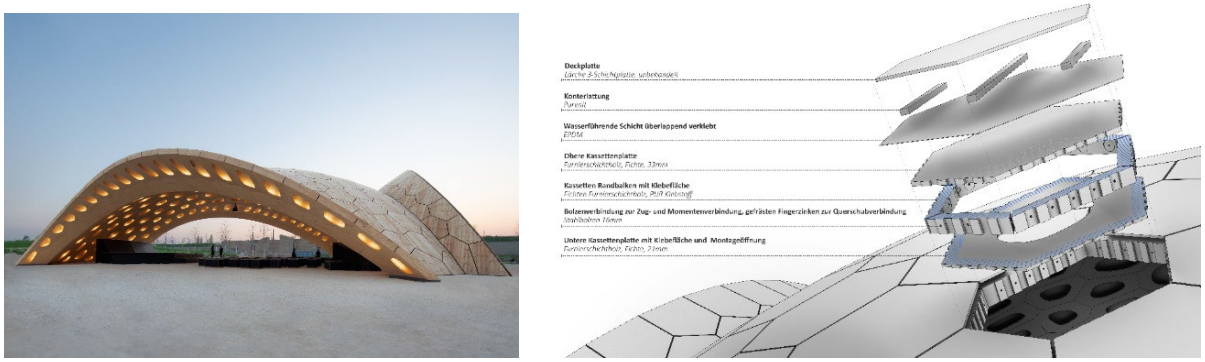


Abbildung 1: BUGA Holzpavillon, Bundesgartenschau Heilbronn, 2019 Quelle: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Lastangepasste und damit materialeffiziente Schalentragwerke sind in der heutigen Baupraxis auf Grund des hohen Aufwandes für die Herstellung so gut wie ausgestorben. Für den BUGA Holzpavillon wurde als Alternative zu traditionellen Schalenbauweisen ein System entwickelt, bei dem eine doppelt gekrümmte Geometrie aus ebenen Kassetten zusammengesetzt wird [4], [5]. Dies erfordert, dass jede der 376 Kassetten des BUGA Holzpavillons unterschiedliche geometrische Abmessungen hat.

Jede dieser Kassetten besteht aus zwei Platten und sechs Randbalken jeweils aus Fichten Furnierschichtholz mit jeweils unterschiedlicher Geometrie, so dass diese nur mit einer computergestützten Fertigung sinnvoll herstellbar sind.

Der BUGA Holzpavillon war als temporäre und zerstörungsfrei demontierbare Konstruktion geplant. Die Kassetten übertragen die Kräfte in der Schalenebene über Kontakt, was eine sehr hohe Präzision in der Vorfertigung erfordert. Für die Schubkräfte in Schalenebene war die sägezahnartige Randbearbeitung erforderlich. Für die Schubkräfte senkrecht zur Schalenfläche sind lösbare Bolzen vorgesehen. Der BUGA Holzpavillon war ein zweites Mal

auf der BUGA 2023 in Mannheim zu sehen und wird bald zum dritten Mal an einem endgültigen Standort aufgebaut. Dabei bleibt die tragende Konstruktion erhalten, lediglich die wasserführende Abdichtung sowie die äußere Bekleidung mit Dreischichtplatten wird erneuert.



Abbildung 2: Robotische Fertigung für Kassetten BUGA Holzpavillon. Quelle: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Elementarer Bestandteil des Konzeptes war eine mobile robotische Fertigungseinheit auf einer 20-Fuß Standard Containerplattform, die für dieses Projekt temporär in den Fertigungseinrichtungen der müllerblaustein HolzBauWerke GmbH installiert und dort gemeinsam von Mitarbeitern der Universität Stuttgart und der müllerblaustein HolzBauWerke GmbH betrieben wurde.



Abbildung 3: Montage BUGA Holzpavillon. Quelle: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Entscheidend für die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Konstruktion ist, dass sie ohne Lehrgerüst im freien Vorbau hergestellt werden konnte. Das ist sehr ungewöhnlich beim Bau von Schalentragwerken und hier möglich, weil die Konstruktion leicht ist (das Flächengewicht der tragenden Konstruktion beträgt ca. 37 kg/m^2) aber gleichzeitig eine hohe Biegesteifigkeit aufweist und die Verbindungen sofort kraftschlüssig geschlossen werden können, d.h. Aushärtezeiten wie im Betonbau nicht erforderlich sind.

2. Die livMatS Biomimetic Schale 2023 in Freiburg

Der livMatS Pavillon bildet eine Erweiterung des Freiburger Zentrum für interaktive Werkstoffe und bioinspirierte Technologien der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und bietet als Seminargebäude 200 m^2 Fläche für das Entwickeln disziplinübergreifender Forschungsideen. Aus konstruktiver Sicht knüpft er an die BUGA Holzschale an, ist aber als permanente und ganzjährig nutzbare Konstruktion ausgelegt. Die Abmessungen betragen im

Grundriss rund 15m x 16m, die Spannweite ist damit kleiner als beim BUGA Holzpavillon, wo sie knapp 30 m beträgt. Die Konstruktion besteht wir beim BUGA Holzpavillon aus ebenen Kassetten, die allerdings mit Vollgewindeschrauben dauerhaft verbunden werden. Das Konstruktionssystem des BUGA Holzpavillons wurde vor allem wirtschaftlich optimiert. Hierfür wurden zunächst die Bauteilgrößen vergrößert und so angepasst, dass bei der robotischen Herstellung so wenig Verschnitt wie möglich erzeugt wird. Dann wurde auf die Sägezahnverbindungen zur Übertragung der Schubkräfte in Schalenebene verzichtet, da diese mit einem erheblichen Aufwand für das robotische Fräsen verbunden sind. Alle Schalenkräfte werden über die Vollgewindeschrauben oder über Kontakt der Stirnflächen der Kassetten übertragen. Außerdem bestehen die Kassetten aus einfachen Dreischichtplatten und üblichem Brettschichtholz GL24h für die Randbalken.



Abbildung 4: livMatS Biomimetic Shell 2023 in Freiburg. Foto: Conné van d'Grachten

Das Herzstück der Vorfertigung ist eine neuentwickelte, transportable 7-Achs-Roboterplattform, die eine nahtlose Integration in den Werkhallen des Industriepartners müllerblaustein HolzBauWerke GmbH innerhalb weniger Stunden zuließ. Die 12m lange (40 Fuß ISO Container) Robotereinheit ermöglichte die gleichzeitige Fertigung von vier Bauteilen mit Längen bis zu 3,5 Metern. Die individuellen Hohlkassetten wurden vom Schwerlastroboter aus einzelnen, digital vorformatierten Holzteilen gefügt, geklebt und in einem weiteren Schritt gefräst, gebohrt und schließlich zeiteffizient und mit einer Passgenauigkeit im Submillimeterbereich mittels Sägeblatts abgebunden. So konnte die robotische Fertigungszeit im Vergleich zum BUGA Pavillon um 75% reduziert werden. In die digitale Fertigung der Hohlkassetten wurden manuelle Teilmontageschritte von Sonderbauteilen wie Leuchtmitteln und Akustikelementen durch Augmented Reality direkt integriert. Diese Form der Mensch-Maschine Interaktion im Fabrikationsprozess, in dem unterschiedliche Akteure in einer gemeinsamen digital gestützten Prozesskette kooperieren können und Aufgaben zielgerichtet verteilt werden, ermöglicht eine effektive, digital-handwerkliche Herstellung komplexer Bauteile mit einem hohen Maß an Präzision.



Abbildung 5: robotische Vorfertigung der Holzkassetten. Foto: ICD/ITKE/IntCDC Universität Stuttgart

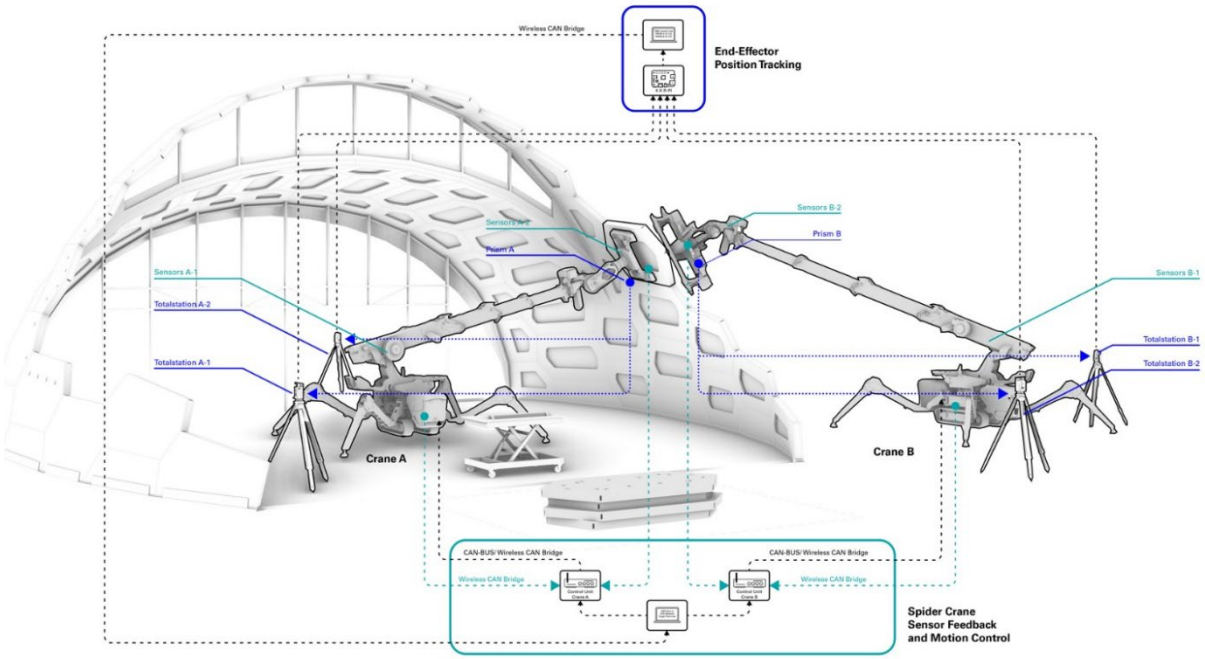


Abbildung 6: Montage der Holzkassetten auf der Baustelle. Foto: ICD/ITKE/IntCDC Universität Stuttgart

Segmentierte Holzleichtbaukonstruktionen eignen sich aufgrund der hohen Präzision in der Vorfertigung und des geringen Bauteilgewicht für eine automatisierte Montage vor Ort, die im Rahmen dieses Projekts anhand von mehreren Schalensegmenten erstmals in einer realen Baustellensituation durchgeführt wurden. Hierfür wurden zwei cyber-physikalische Montageplattformen mit End-Effektoren entwickelt, die als automatisiertes Montage-Konzept vom digitalen Zwilling bis zu praktischer Einbindung in den Bauablauf untersucht wurden.
Das Montageprinzip besteht aus einem automatisierbaren Spinnenkran, der mit einem Vakuumgreifer Bauteile aufnimmt, sie automatisch an der entsprechenden Einbauposition platziert und in Position hält, bis diese ebenfalls automatisch verschraubt werden. Hierfür fährt ein zweiter, mit einem neuartigen Schraubeffektor ausgestatteter Spinnenkran die zu verschraubenden Kanten automatisiert an und bringt alle Schrauben ein. Für die wich-

tige Lokalisierung und Präzision der Bauroboter wurde ein automatisiertes Echtzeit-Tachymeter Netz bestehend aus vier Tachymetern entwickelt, wovon jeweils zwei Tachymeter die Position eines Bauroboters bestimmen.

Um bei komplexen Schalenbauwerken eine reibungslose Montage gewährleisten zu können, ist die Qualitätssicherung von größter Bedeutung. Ziel war es Hohlkassetten durch die Fertigungsschritte zu begleiten und so mögliche Änderungen der Geometrie feststellen zu können. Dafür wurde mittels eines terrestrischen Laserscanners ein digitales Abbild ausgewählter Kassetten erzeugt, welches dann mit der Soll-Geometrie aus der Planung verglichen werden konnte. Diese Messungen wurden sowohl nach der Fertigung, unmittelbar vor der Montage auf der Baustelle, sowie im eingebauten Zustand durchgeführt. Um eine abschließende geometrische Qualitätssicherung durchführen zu können wurde außerdem eine Aufnahme der fertigen Schale erstellt, um die Geometrie final zu evaluieren.



Abbildung 7: Montage der Holzkassetten auf der Baustelle mit links: Effektor zum Positionieren der Bauteile und rechts: Effektor zum Setzen der Vollgewindeschrauben. Foto: ICD/ITKE/IntCDC Universität Stuttgart

4. Weiterentwicklung der Segmentschalen zu Deckensystemen

Die Bauform des Pavillons ermöglicht es, den geometrischen Gestaltungspielraum sowie die konstruktive Leistungsfähigkeit einer neuen Bauweise zu erproben und zu demonstrieren, ohne gleich alle funktionalen Anforderungen hinsichtlich Akustik, Brandbeständigkeit, Dauerhaftigkeit etc. erfüllen zu müssen, die üblicherweise mit Gebäuden verbunden sind. Ziel ist aber die Übertragung der für die hier vorgestellten Segmentschalen entwickelten Ideen zu Planung, Konstruktion, Fertigung und Montage auf den allgemeinen Geschossbau.

Das entwickelte Deckensystem [6], [7] übernimmt dabei Ansätze aus den Holzsegmentschalen: ähnlich wie deren Hohlkassetten ist es zweilagig aufgebaut um den Verbrauch von Holz zu reduzieren. Die beiden Decklagen bestehen in diesem Fall aus Brettsperrholzplatten, die durch 1,2 m lange Stege aus Brettschichtholz schubsteif gekoppelt sind. Die Stege folgenden diskontinuierlich den Schubspannungen in der Platte. Die Decke lagert punktförmig auf Stützen aus Brettschichtholz auf. Um den Stützenkopf herum ist der Hohlraum mit einer Verstärkungsplatte ausgefüllt, die als Schubverstärkung das Durchstanzen verhindert, ähnlich wie Dübelleisten bei Stahlbetonflachdecken. Die Durchleitung der Stützenkräfte erfolgt über Einlagen aus Furnierschichtholz aus Baubuche, so dass auf die üblichen Einbauteile aus Stahl verzichtet werden kann. Auch die Fertigung knüpft an Ansätze von dem BUGA Holzpavillon an: zwei korrespondieren-de Roboter werden auf einer transportablen Containerplattform montiert. Einer platziert die Bauteile, d.h. vor allem die Stege, der zweite bearbeitet sie, d.h. bringt den Leim auf und fräst die Aussparungen. Auf diese Weise werden im Werk Deckenplatten zu transportfähigen Einheiten von etwa 12m x 2,80 m vorgefertigt und dann auf der Baustelle miteinander verleimt. Die Fugen zwischen den Segmenten werden auf der Baustelle verklebt.

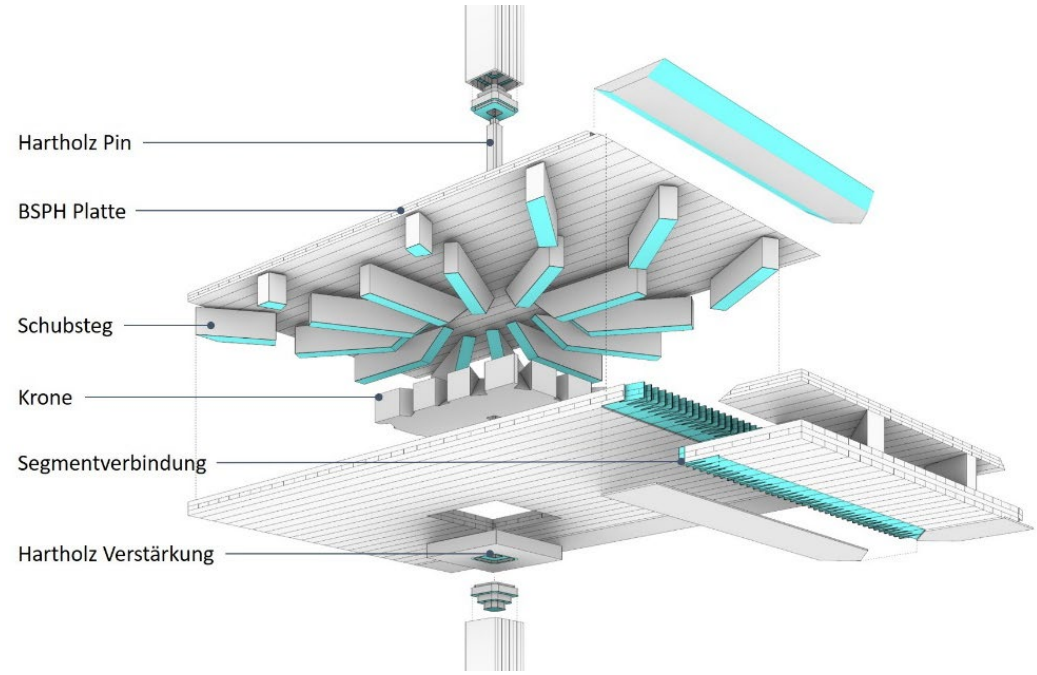


Abbildung 8: Zweilagiges Deckensystem für große Spannweiten und unregelmäßige Stützenstellung [7]
Quelle: IntCDC Universität Stuttgart



Abbildung 9: Geplante Fertigung der zweilagigen Holzdecken in der Halle des Excellenzclusters IntCDC, Waiblingen. Quelle: IntCDC Universität Stuttgart

Um den Verbrauch an Klebstoff und damit auch die Montagezeiten zu reduzieren ist die Ausbildung der Klebefuge zwischen den vorgefertigten Deckensegmenten unterschiedlich, bzw. an Größe sowie Art der Beanspruchung angepasst, d.h. überwiegend Biegung oder zusätzlich auch große Schubkräfte. Dies erhöht die geometrische Komplexität der Bauweise weiterhin, so dass diese insgesamt nur mit einer konsistenten digitalen Integration von Planung und Fertigung denkbar ist.

Eine besondere Herausforderung für den mehrgeschossigen Holzbau stellen die Anforderungen aus dem Schallschutz und dem sommerlichen Wärmeschutz dar. Gängige Konzepte reagieren hierauf mit Masse, was im Hinblick auf eine ressourceneffiziente Leichtbaukonstruktion kontraproduktiv ist. Während die thermische Speichermasse aus den tragenden Konstruktion in den Ausbau verlegt werden kann, ist für den Schallübertrag die Masse der tragenden Decke maßgebend. Hier werden Ansätze untersucht, bei denen die Schubstege wie Federn so ausgelegt sind, dass sie die beiden Deckenlagen zwar statisch verbinden, aber akustisch den Trittschallübertrag dämpfen.

5. Die Holzbaudemonstratoren

Die Holzbauforschung an der Universität Stuttgart im Rahmen des Exzellenzclusters IntCDC unterscheidet sich von vielen anderen Forschungsprojekten auch darin, dass sie in großformatigen Demonstratoren, wie zum Beispiel den beiden hier vorgestellten Holzsegmentschalen, erprobt wird. Viele Fragen stellen sich erst bei der baulichen Umsetzung im Maßstab 1:1, z.B. die Ausführung von Anschluss- und Randdetails oder die Integration

und Ausführung von Dicht- und Dämmebenen oder von äußeren Bekleidungen. Ein besonderer Aspekt, der in Forschungsprojekten häufig kaum adressiert wird, ist die Frage der bauaufsichtlichen Genehmigung. Forschung ist nur dann Forschung, wenn sie sich außerhalb des Stands der Technik befindet, bzw. das Ziel hat, diesen zu erweitern. Das bedeutet für den Transfer in die Praxis, das dieser über Zustimmung im Einzelfall bauaufsichtlich abgedeckt werden muss. Wenn der Aufwand hierfür aber zu groß wird, ist dieser Transfer kaum realistisch. Die Genehmigungsfähigkeit muss also von Beginn an mit gedacht werden, und auch Gutachter und Genehmigungsbehörden entsprechend eingebunden werden.

Zentrales Projekt des Exzellenzclusters ist das Large Scale Construction Laboratory, das LCRL Gebäude, das auf dem Universitätscampus in Vaihingen 2026 mit Außenabmessungen von rund 100m x 30m realisiert werden soll. Es ist gleichzeitig Heimat für die Forschenden des IntCDC aber gleichzeitig auch Demonstrator für die verschiedenen Forschungsthemen. Diese werden in das Gebäude integriert, z.B. der Gradientenbeton für die Bodenplatte und die Untergeschosse, die Holzbaudecken im Bürobereich und ein Faserträger im Dach, sowie Bio Composite als innen liegende Bekleidungen. Dabei sollen nicht nur die Bausysteme sondern auch die Fertigungs- und Montageprozesse erprobt werden. Auch hier sollen die Kassetten für das Dachtragwerk nicht nur digital vorgefertigt, sondern in Teilbereichen auf der Baustelle robotisch montiert werden.

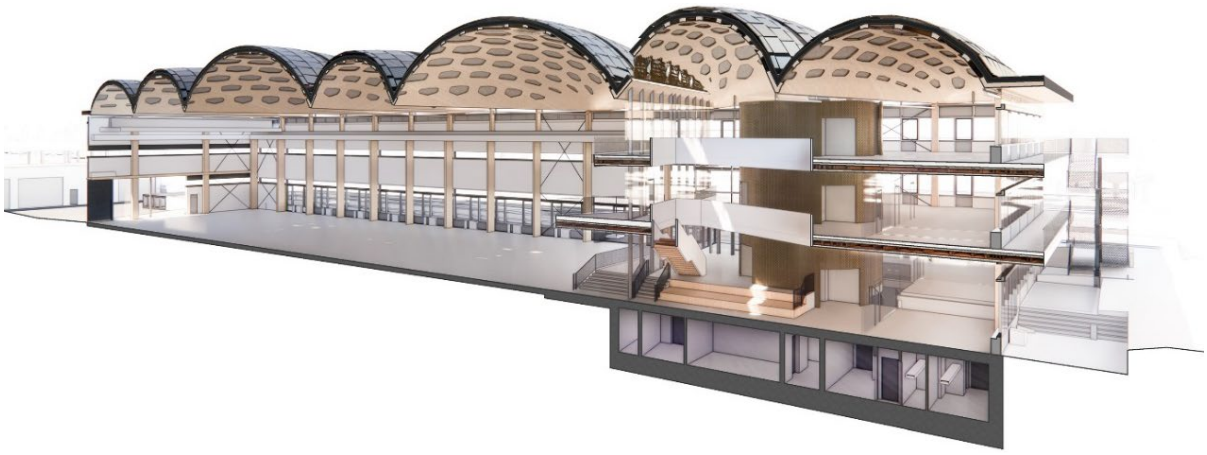


Bild 10: Large Scale Robotic Construction Laboratory des IntCDC auf dem Campus Vaihingen der Universität Stuttgart, Fertigstellung 2026. Quelle: IntCDC Universität Stuttgart

Bei den Holzdecken sind neben den Aspekten der digitalen Planung und Fertigung vor allem die Klebefugen eine besondere Herausforderung. Hierbei kommen auch Verklebungen auf der Baustelle zum Verbinden der Deckensegmente zum Einsatz.

6. Mitwirkende an der Holzbauforschung

Die hier dargestellten Holzbauforschungen sind nur durch die intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit einer Vielzahl an Mitwirkenden aus unterschiedlichen Disziplinen möglich. Diese kommen aus folgenden Instituten und Einrichtungen der Universität Stuttgart:

ICD – Institut für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung

ITKE – Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen

MPA – Materialprüfungsanstalt, Abteilung Holzkonstruktionen

IABP – Institut für Akustik and Bauphysik

ISW – Institut für Steuerungstechnik der Fertigungseinrichtungen

VISUS – Visualisierungsinstitut der Universität Stuttgart

SOWI – Institut für Sozialwissenschaften

[1] BBSR online-Publikation Nr 17/2020. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2020

[2] Umwelt Bundesamt, Texte 192/2020. Potenziale von Bauen mit Holz - Erweiterung der Datengrundlage zur Verfügbarkeit von Holz als Baustoff zum Einsatz im Holzbau sowie vergleichende Ökobilanzierung von Häusern in Massiv und Holzbauweise

[3] Svatoš-Ražnjević, H., Orozco, L., Menges, A.: 2022, Advanced Timber Construction Industry: A Review of 350 Multi-Storey Timber Projects from 2000–2021. Buildings, vol. 12, no. 4. (DOI: 10.3390/buildings12040404)

[4] Bechert, S., Sonntag, D., Aldinger, L., Knippers, J.: 2021, Integrative structural design and engineering methods for segmented timber shells - BUGA Wood Pavilion. Structures 34 (2021) 4814–4833

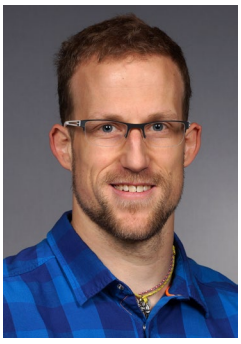
[5] Wagner, H.J., Alvarez, M., Kyjanek, O., Bhiri, Z., Buck, M., Menges, A., Flexible and transportable robotic timber construction platform – TIM. Automation in Construction 120 (2020) 103400

[6] Krtschil, A., Orozco, L., Bechert, S., Wagner, H.J., Amtsberg, F., Chen, T.Y., Shah, A., Menges, A., Knippers. J. Structural development of a novel punctually supported timber building system for multi-storey construction. Journal of Building Engineering 58 (2022) 104972

[7] Tapia,C., Simon, K., Stimpfle, L., Münzer, A., Aicher, S. : Full-scale bi-axial static and dynamic load test for an advanced plate-column connection used in the new large construction robotics laboratory at Stuttgart University

Wisdome – Technisches Museum Stockholm

Stefan Rick
SJB Kempter Fitze AG
Frauenfeld, Schweiz



2 Wisdome – Technisches Museum Stockholm | S. Rick

Wisdome – Technisches Museum Stockholm

1. Das Siegerprojekt



Abbildung 1: Visualisierung (Elding Oscarson)

Das Design ging als Sieger eines geladenen Wettbewerbs im Jahr 2019 des Tekniska Museet Stockholm hervor, die eine Erweiterung ihres Technischen Museums in Stockholm planten. Mit Stora Enso als Hauptsponsor war ein spezielles Kriterium des Wettbewerbs, dass die Produkte Brettsperrholz (BSP) und Furnierschichtholz (FSH) von Stora Enso auf eine innovative Art und Weise für die Tragstruktur verwendet werden sollen. Somit war Stora Enso auch Teil der Jury des Wettbewerbs. Sieger des Wettbewerbs war das Projekt von Elding Oscarson und DIFK.
Im Inneren des Gebäudes befindet sich der Dome und ein Café.

Dach
- Fassadenstützen und Freiform Gridshell
- Breite x Länge x Höhe: 26m x 48m x 15m (ohne Vordach)

Dome
- Einhausung des 360° Kinos mit 3D Erlebnis
- Platz für 100 Personen
- Durchmesser x Höhe: 22m x 12m

Café
- Kaffee, Bar und WC
- Breite x Länge x Höhe: 4m x 13m x 3m

In den weiteren Ausführungen beschränkt sich der Beitrag auf das Dach des Wisdome Stockholm.

2. Die Aufgabenstellung

2.1. Das Gebäude

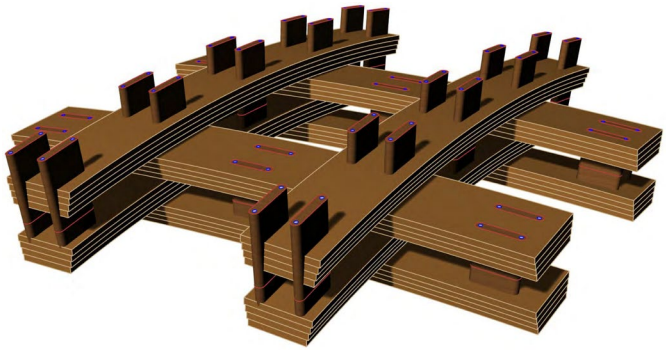
Das Gebäude ist ca. 26m breit und 48m lang. Umlaufend entlang der Fassade sind Stützen angeordnet, auf denen das Dachtragwerk sitzt. Auf der Nordseite grenzt der Neubau an ein bestehendes Museumsgebäude, weshalb das Vordach und die Glasfassade nur an den restlichen drei Seiten des Gebäudes angeordnet sind. Im Inneren befindet sich der Dome, der ein 360° Kino mit 3D Erlebnis beherbergt.
Die Geometrie des Dachs orientiert sich an der Form des Domes. Die Dachfläche ist entlang der Längsachse durch das Zentrum des Domes symmetrisch, wird aber dann von dem Bestandsgebäude abgeschnitten.



Abbildung 2: Visualisierung (Elding Oscarson)

2.2. Die Herausforderung

Die Option, die Freiformgeometrie mit gekrümmten BSH (einfach, zweifach, tordiert) zu konstruieren, wie wir es bisher gewohnt waren, gab es hier nicht. Mit der Vorgabe des Materialsponsors Stora Enso galt es, eine Konstruktion für das Dach mit Plattenmaterial aus BSP und FSH zu finden.



Mit dem Konzept von Hermann Blumer war die Fahrtrichtung gegeben: Vorgesehen ist eine Gridshell, die aus mehreren Lagen besteht und jede dieser Lagen besteht wiederum aus mehreren Lagen FSH, die in die finale Form gebogen und tordiert werden und ohne Verleimung, aber mit Schubdübel aus FSH in Form gehalten werden.

Abbildung 3: Konzept Freiformstruktur Dach (Hermann Blumer)

Die Gridshell spannt in beide Richtungen des Gebäudes und lagert umlaufend auf einem Randträger, der wiederum seine Lasten auf Stützen abgibt.

3. Die ersten zwei (drei) Mock-ups

Nachdem das Konzept vorhanden war, kam der Entscheid für ein Mock-up, um das Konzept aus statischer und architektonischer Sicht zu testen. Für das statische Mock-up wurden jeweils zwei Träger aus dem Dach im Maßstab 1:1 gefertigt, um jeweils die Torsion und die Biegung zu testen. Die einzelnen Lamellen wurden mit Hilfe einer Schablone in die finale Form gezwungen und fixiert. In dieser Form wurden die Ausschnitte für die Schubdübel gefräst und danach die Schubdübel eingesetzt.





Abbildung 4 und 5: statische Mock-ups mit maximaler Torsion und maximaler Biegung (Blumer-Lehmann AG)

Die wichtigsten Erkenntnisse aus den statischen Mock-ups:
- Die Träger behalten ihre Form nicht, die Rückstellung ist zu gross
- Anstelle von 4 x 39mm FSH Lamellen pro Lage wird gewechselt auf 5 x 31mm



Für das architektonische Mock-up wurde ein kleiner Ausschnitt aus dem Dach mit 4 Lagen, ebenfalls im Masstab 1:1 gefertigt, welches als Veranschaulichung für die Architekten diente.

Die Mock-ups beinhalteten nur die Tagkonstruktion, keine Akustikelemente, oder irgendwelche Dachaufbauten.

Abbildung 6: architektonisches Mock-up (Blumer-Lehmann AG)

4. Konzept Verfeinerung

Mit den Erkenntnissen aus den ersten Mock-ups wurde das Konzept für das Freiformdach verfeinert. Zur selben Zeit ergab sich aus den ersten Berechnungen, dass der 4-lagige Aufbau zu große Verformungen mit sich bringt. Da sich die innere und die äußere Dachfläche in ihrer Geometrie unterscheiden, war für die Dachhaut eine Unterkonstruktion geplant, um dessen Geometrie darzustellen. Diese Unterkonstruktion wurde in diesem Zusammenhang als 5. Lage verwendet um der Konstruktion mehr Steifigkeit zu geben.

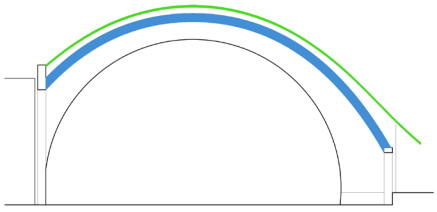


Abbildung 7: Schema Unterschied der Geometrie der inneren und äußeren Dachfläche (Elding Oscarson)

4.1. Der 5 x 5-lagige Aufbau

Mit der 5. Lage und dem Entscheid 5 x 31mm Lamellen zu verwenden war der 5 x 5-lagige Aufbau entstanden. Es gibt eine Haupttragrichtung mit 3 Lagen, die über die kurze 26m Distanz des Gebäudes spannt und dazwischen verlaufen 2 Lagen in der Längsrichtung des Gebäudes, die die 48m Distanz überspannen.

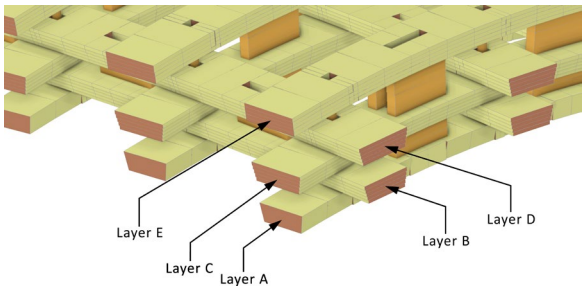


Abbildung 8: finaler Lagenaufbau der Gridshell

4.2. Die Vorspannung

Die Geometrie des gekrümmten Dachtragwerks führt zu horizontalen Spreizkräften am Kopf der Stützen, welche horizontale Verformungen entlang des Randträgers und der Stützenköpfe zur Folge haben. Durch diese Verformung ergibt sich eine Schiefstellung der Stützen und somit auch der Glasfassade, die an drei Seiten des Gebäudes vorgesehen ist. Und an der vierten Seite grenzt das Bestandsgebäude an.

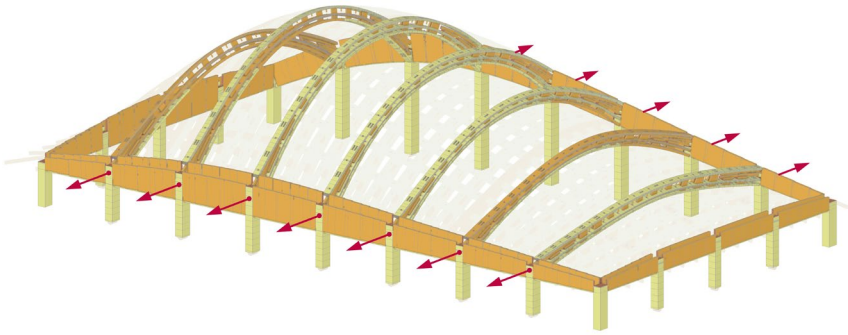


Abbildung 9: schematische Darstellung der horizontalen Spreizkräfte (rot) in Querrichtung des Gebäudes



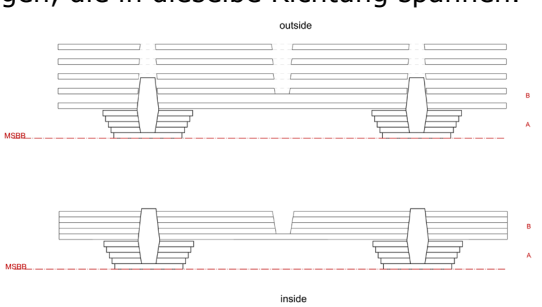
Um der horizontalen Verformung entgegenzuwirken und diese zu begrenzen, wurden die Fassadenstützen exzentrisch mit Spanngliedern vorgespannt. Die Spannglieder haben jeweils eine Stahlplatte unter der Bodenplatte und auf dem Stützenkopf, um die Druckkräfte einzuleiten. Pro Stütze wurden 2 Spannglieder vorgesehen, die während der Montage des Dachtragwerks und vor dem Entfernen des Lehrgerüsts, vorgespannt wurden.
Aufgrund der exzentrischen Anordnung der Dachform auf den Stützen in Querrichtung und der asymmetrischen Dachform in Längsrichtung des Gebäudes, sind die horizontalen Spreizkräfte an jedem Stützenkopf unterschiedlich. Um am Ende einen gleichmäßigen Verlauf entlang des Randträgers zu erhalten, muss dementsprechend auch die Vorspannung bei jeder Stütze individuell sein.

Abbildung 10: Stützenkopf während der Montage, noch nicht vorgespannt

5. Holz-Holz Verbindungen

5.1. Kreuz- und Schubdübel

Entsprechend der Philosophie ein Holztragwerk auch mit Holz-Holz Verbindungen zu realisieren und mit Stora Enso als Materialsponsor, war die Grundlage gegeben, möglichst alle Bauteile mit BSP und/oder FSH umzusetzen. Mit dem Input von Design-to-Production GmbH ist dann auch das Konzept für die zwei am häufigsten vorkommenden Verbindungstypen, die Kreuz- und die Schubdübel, entstanden. Die Kreuzdübel als Verbindung an den Kreuzungspunkten der Lagen und die Schubdübel als Schubübertragung zwischen den Lagen, die in dieselbe Richtung spannen.



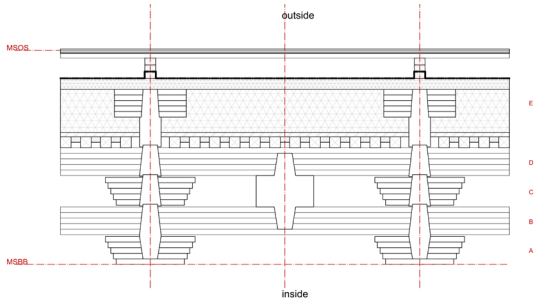


Abbildung 11 und 12: Konzept (links Montage, rechts Aufbau) Gridshell mit Kreuz- und Schubdübel (Design-to-Production GmbH)

Die Kreuzdübel sind rund gedrechselte, konische Kegel. Sie sind aufeinandergestapelt, verbinden die zwei Spannrichtungen miteinander und geben bei der Montage die Dachgeometrie immer von einer Lage auf die nächste weiter. Die Schubdübel sind entsprechend den Schubkräften massiver ausgeführt und mit einem trapezförmigen Zapfen versehen, um das Einfahren der Lamellen zu ermöglichen.

5.2. Längsstöße

Im selben Zusammenhang wurden auch die Längsstöße der Lamellen der Lage B bis E entwickelt. Die Länge der Lamellen und somit auch die Lage der Längsstöße im Dach, werden definiert von der Transportlänge und den Einfahrrichtungen im Dachtragwerk. Je gekrümmter die Dachform, desto kürzer die Lamellen. Mit dem Ziel einen möglichst einfachen und montagefreundlichen Längsstoß zu haben, der auch den statischen Anforderungen genügt, wurde hier eine Variante gewählt, die in das bisherige Konzept passt und keine weiteren Anpassungen benötigt.

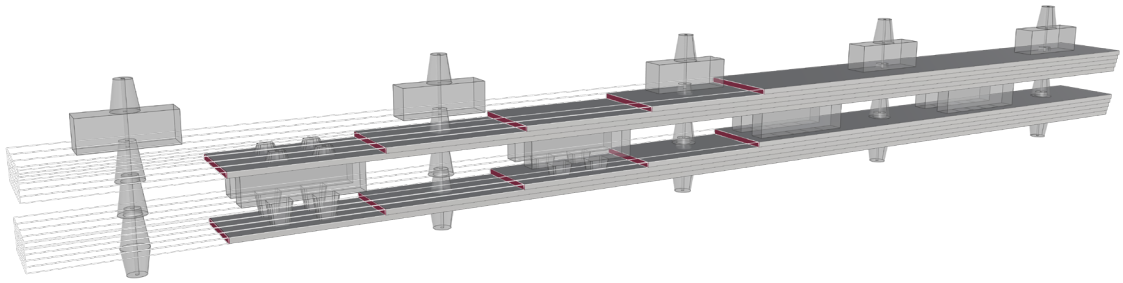
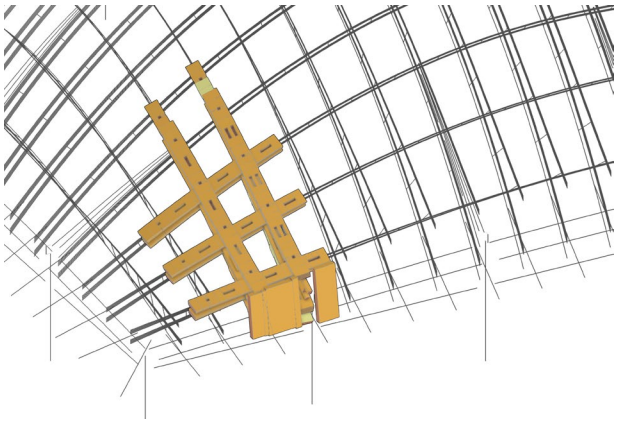


Abbildung 13: Konzept Längsstöße im Dach

Die Lamellen sind ohne statische Verbindungsmittel zwischen den Kreuz- und Schubdübeln gestoßen und der Lastabtrag erfolgt über den Kontakt zwischen den Lamellen und den jeweiligen Dübeln.

6. Das finale Mock-up



Das finale Konzept war gefunden, die Dimensionen und Details weitestgehend festgelegt, nun war der Zeitpunkt für ein weiteres und finales Mock-up. Mit diesem Mock-up sollten alle Ideen, offenen Fragen und vor allem auch die Montage geklärt werden. Um unter möglichst realitätsnahen Bedingungen die Fragen zu klären, wurde ein Ausschnitt aus dem Dachtragwerk im Maßstab 1:1 gefertigt, das von dem Team produziert und montiert wurde, welches auch die Produktion und Montage des Wisdome Stockholm machen wird.

Abbildung 14: Ausschnitt des Dachtragwerks der für das Mock-up gewählt wurde

6.1. Toleranzen

Ein wichtiger Punkt des Mock-ups waren die Toleranzen. Wieviel grösser soll der Ausschnitt für die Kreuz- und Schubdübeln in den Lamellen nun gefräst werden? Aus der Sicht des Ingenieurs war die Antwort klar: am besten keine Toleranz, da der Lastabtrag zwischen Lamellen und Dübel auf Kontakt funktioniert und Toleranzen Verformungen mit sich bringen. Auf der Seite des Holzbauunternehmers war die Antwort eine andere: auf jeden Fall Toleranzen, damit die Montage reibungslos funktioniert. Um die Frage zu klären wurde bei dem Mock-up mit drei verschiedenen Toleranzen zwischen Lamellen und Kreuz- und Schubdübeln gearbeitet: 0mm, 1mm und 2mm.
Mit der Fertigstellung des Mock-ups wurde festgelegt, mit 0mm Toleranzen zu planen, da aufgrund der konischen Dübelform das Einfahren der Lamellen gut funktioniert.

7. Modellierung und Bemessung

Das Konzept sieht vor, dass alle Elemente bei der Montage aufeinandergestapelt werden. Lage A gibt die Geometrie vor und dann werden Kreuz- und Schubdübel eingesteckt, die Lamellen der Lage B eingefahren und dann die nächsten Dübel, bis alle Lagen montiert sind. Die Lamellen (mit Ausnahme von Lage A) sind nicht miteinander verleimt und einzelne Elemente, die auch so in der Bemessung berücksichtigt werden sollen. Das statische Modell wurde auf Grundlage der Referenzgeometrie von Design-to-Production GmbH erstellt. Mit dem Input der Stützenvolumen, der Masterfläche und der Achsen der Lagen, wurde mit Hilfe von Grasshopper die Geometrie für das Stabwerksmodell erzeugt.

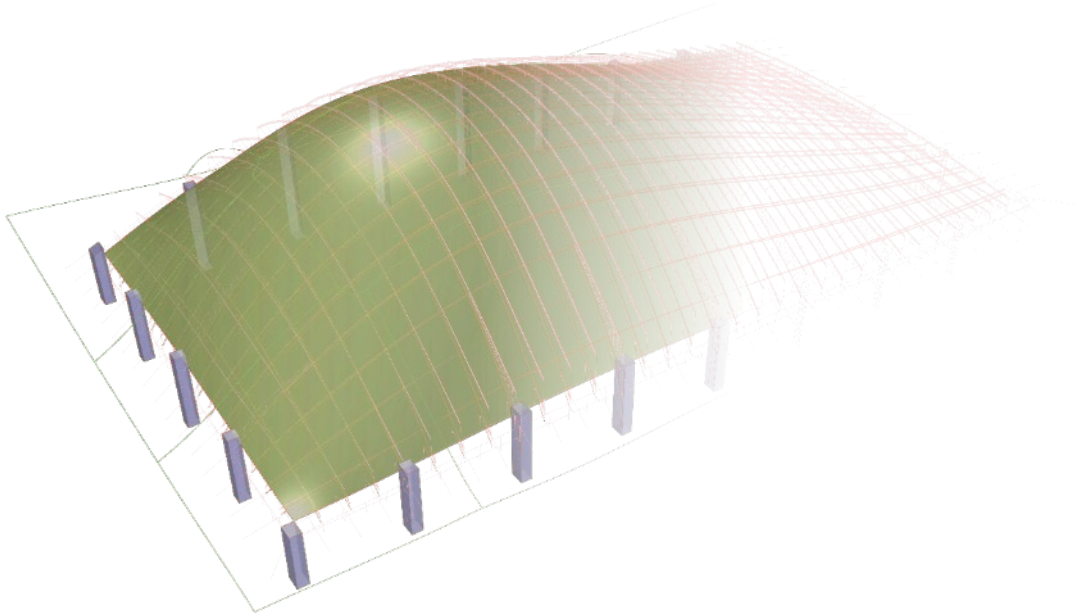
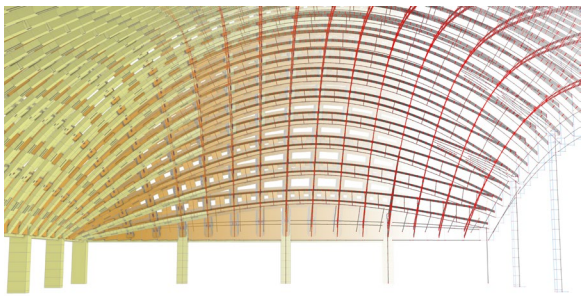


Abbildung 15: Input der Elemente der Referenzgeometrie zum Output der statischen Geometrie in Grasshopper (auf Basis des 3D-Modells von Design-to-Production GmbH)



Der Output von Grasshopper in die Statiksoftware bestand aus folgenden Elementen:
- Knoten
- Stäbe
- Materialien
- Querschnitte
- Kopplungsstäbe
- Stabdrehungen

Abbildung 16: Ausschnitt Stabwerkmodell

7.1. Eigenspannungen

Mit dem Biegen und Tordieren der Lamellen in die finale Position auf der Baustelle entstehen in den Lamellen Eigenspannungen, die auch für die Bemessung relevant sind. Diese Eigenspannungen sind einerseits wichtig für die Bemessung der Lamellen und andererseits für die Bemessung der Anschlüsse, da die Rückstellkräfte der Lamellen in den Anschlusspunkten befestigt werden müssen.

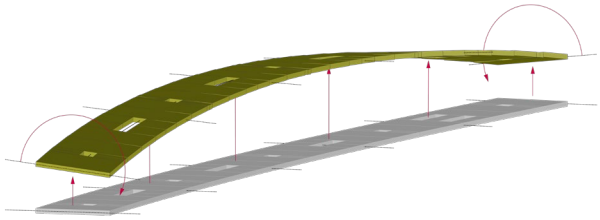


Abbildung 17: Schema der Biege- und Torsionskräfte

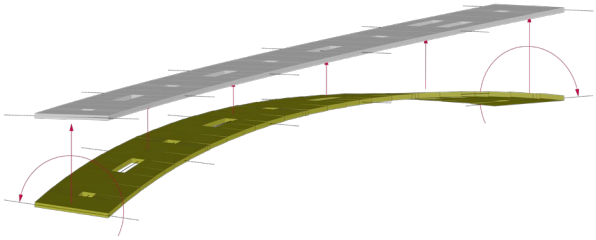


Abbildung 18: Schema der Rückstellungskräfte

8. Freigabeprozess

Für Die Kreuz- und Schubdübel wurden jeweils verschiedene Typen entwickelt, die aus statischer Sicht verschiedenen Leveln an Belastung entsprechen. Bei allen Verbindungen wurden alle Bearbeitungen, Bohrungen und Verbindungsmittel im 3D eingeplant, vom Holzbauingenieur kontrolliert und freigegeben.

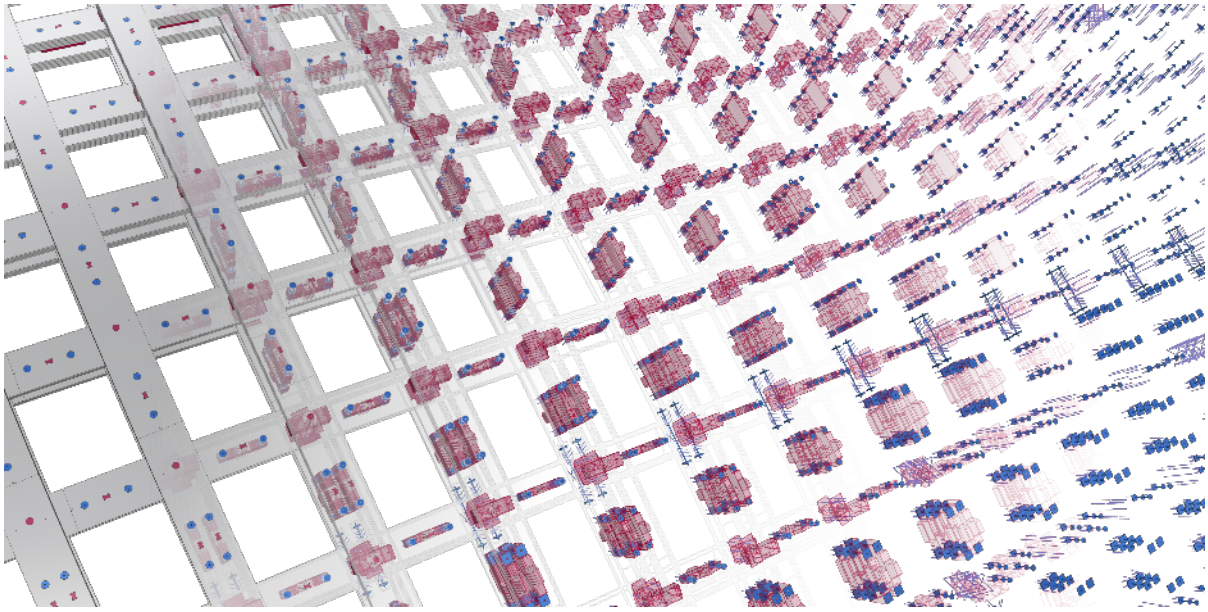


Abbildung 19: Ausschnitt 3D der Gridshell mit allen Bauteilen und Verbindungsmitteln (auf Basis des 3D-Modells von Design-to-Production GmbH)

9. Montage

Für die Montage wurde die gesamte Baustelle mit einem Zelt überbaut, um wetterunabhängig den engen Zeitplan einhalten zu können. Nach der Montage des Domes im Juni und Juli 2022 erfolgte die Montage des Dachs angefangen mit Stützen, über Randträger und dann der Gridshell. Bei der Gridshell wurde mit dem Input von Blumer-Lehmann AG entschieden, die Lamellen der Lage A miteinander zu verleimen, um eine exakte Schablone für die Dachgeometrie und den weiteren Montageablauf zu haben.

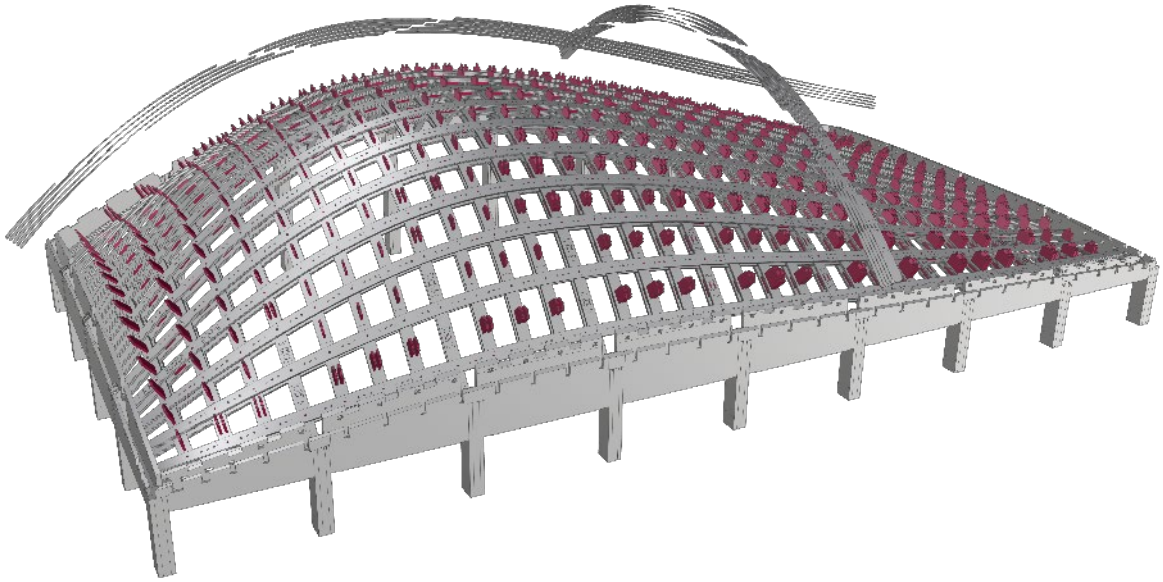
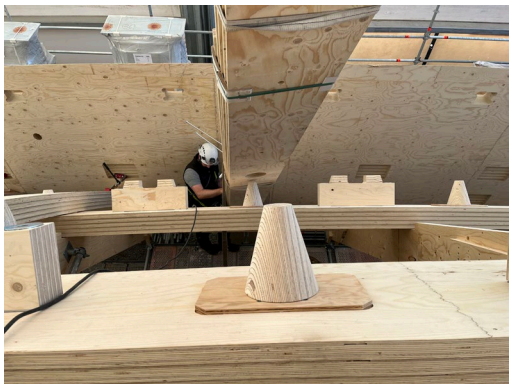


Abbildung 20: Schema Montage der Lamellen (auf Basis des 3D-Modells von Design-to-Production GmbH und Blumer-Lehmann AG)



Die Lamellen wurden sortiert, nummeriert und in der Montagereihenfolge gestapelt auf die Baustelle geliefert, damit keine Sortierung der vielzähligen Bauteile auf der Baustelle notwendig ist.
Während der gesamten Montagezeit wurde die Gridshell bis zum Zeitpunkt der Stützenvorspannung mit einem Lehrgerüst temporär unterstützt. Die Montage der Lamellen erfolgte Lagenweise und Paketweise, immer 5 Lamellen zusammen wurden in ihre Position gehoben, in ihre finale Form gebracht und befestigt.

Abbildung 21: Einfahren eines Lamellenpakets der Lage B in den Randträger und auf die Kreuzdübel





Abbildung 22 und 23: Montage Lage B (links), Vorspannprozess Spannglieder der Stützen (rechts)

10. Zahlen und Fakten

– Bauherr:	Tekniska Museet	Stockholm (SE)
– Architekt:	Elding Oscarson	Stockholm (SE)
– Bauingenieur und Design Tragstruktur:	DIFK Dipl.- Ing. Florian Kosche AS	Oslo (NO)
– Hauptpartner und Materialsponsor:	Stora Enso	Stockholm (SE)
– Konzept Tragstruktur Dach und Dome:	Hermann Blumer, Création Holz	Herisau (CH)
– Holzbauingenieur Dach und Dome:	SJB Kempter Fitze AG	Frauenfeld (CH)
– Digitale Planung, Projektmanagement, Beratung Holzbau:	Design-to-Production GmbH	Erlenbach ZH (CH)
– Holzbauunternehmer:	Blumer-Lehmann AG	Gossau SG (CH)
– Statisches Modell:	118‘557 Knoten / 153‘746 Stäbe	
– Dachfläche:	ca. 1‘600 m^2	
– Fertigholzvolumen Dach:	ca. 490m^3 (FSH)	
– Fertigholzvolumen Dome:	ca. 265m^3 (BSP)	
– Raster Dach:	ca. 1‘550mm	
– Stützenabmessungen:	600 x 600mm, 600 x 800mm (FSH blockverleimt)	
– Bauzeit Tragkonstruktion:	Juni 2022 – Dezember 2022	
– Eröffnung:	06. Dezember 2023	

Sporthalle in Zürich mit vorgespannten BSH-Trägern

Dr. Marcel Muster
ETH Zürich
Institut für Baustatik und Konstruktion
Holzbau
Zürich, Schweiz



2 Sporthalle in Zürich mit vorgespannten BSH-Trägern | M. Muster

Sporthalle in Zürich mit vorgespannten BSH-Trägern

1. Einleitung

Der konstruktive Holzbau hat in den letzten Jahrzehnten eine rasante Entwicklung durchlaufen. Durch die Fortschritte bei den Holzwerkstoffen, der Befestigungstechnik und den Anwendungsnormen hat sich Holz als technisch, wirtschaftlich und ökologisch konkurrenzfähiger Baustoff in zahlreichen Anwendungsbereichen etabliert. In weitgespannten Dachkonstruktionen stellen Holzbinder eine material- und kosteneffiziente Bauweise dar. In Situationen, in denen die weitgespannten Konstruktionen nicht als Dachflächen mit leichtem Aufbau, sondern als Decken mit darüber liegender Nutzung eingesetzt werden und die Konstruktionshöhe limitiert ist, wird jedoch eher auf Stahl- oder Stahlbetonbauweisen zurückgegriffen.

Um einen günstigen Spannungszustand im Bauteil zu erreichen und einen kontrollierbaren Teil der Verformungen zu kompensieren, hat sich im Betonbau das Vorspannen von Trägern mit parabolischen, internen Spanngliedern bewährt. Im Holzbau wurde diese Technik jedoch bisher kaum angewendet. Die experimentellen Untersuchungen zu diesem Thema sind bisher sehr begrenzt und betreffen wenn, dann linear oder zentrisch vorgespannte Bauteile, wie z.B. Rug und Pötke [1] Gräfe et. al [2] oder Gessner et. al [3]. Diverse Untersuchung wurden zur Rahmenbildung und horizontaler Aussteifung von Gebäuden mittels Vorspannung durchgeführt wie beispielsweise Buchanan et. al [4] oder Wanninger [5].

Der vorliegende Beitrag beleuchtet anhand eines konkreten Beispiels die Herausforderungen für weitgespannte Tragwerke und zeigt, gestützt auf neue Versuchsergebnisse, wie weitgespannte, hochbelastete Träger mittels Vorspannung angewendet werden können. Das Beispielprojekt ist ein, in der Planung befindliches, Sportzentrum in Zürich. Unter der Federführung von Mark Inderbitzin entwerfen und planen *Boltshauser Architekten AG* den Neubau. *Schnetzer Puskas Ingenieure AG* um Dr. Kevin Rahner sind die Tragwerksplaner, hatten die Idee für die parabolische Vorspannung und initiierten auch das Forschungsprojekt, das dem Referat zu Grunde liegt. Dieses Forschungsprojekt wurde von der Stelle *Wald- und Holzforschungsförderung Schweiz (WHFF-CH)* unterstützt. Massgebend beteiligt waren neben den bereits erwähnten Firmen auch die *Neue Holzbau AG* und die *VSL Schweiz AG*. Unterdessen läuft eine Fortführung des Projektes an der *Fachhochschule Nordwestschweiz* unterstützt durch die *Stadt Zürich*.

2. Ausgangslage

2.1. Nutzung und Einwirkungen

Das Referenzprojekt ist ein in der Planung befindliches Sportzentrum mit unterschiedlicher Nutzung. Die betrachtete Tragkonstruktion befindet sich über einem Eishockeyfeld und spannt über 39.6 m. Darüber befindet sich ein weiteres Eishockeyfeld. Die klimatischen Bedingungen in der Eishalle führen zu erhöhten Holzfeuchten, weshalb das Tragwerk in Feuchteklasse 2 eingestuft werden muss. Die Unterkonstruktion des Eisfelds bedeutet eine hohe Auflast und da eine flexible Nutzung der Fläche gewährleistet werden soll wird auch eine erhebliche Nutzlast gefordert. Nachstehend sind die verschiedenen Einwirkungen aufgelistet.

Tabelle 1: Einwirkungen

Typ	Beschreibung	Vertikale Last
Eigengewicht	Abhängig von der Konstruktion + Brettsperrholz 280 mm	xx + 1.4 kN/m^2
Auflast	Eis 30 mm Monobeton Kälteplatte 140 mm UB Sauberkeitsschicht 82 mm Gleitlager und Abdichtung Wärmedämmung 140 mm Abdichtung	5.2 kN/m^2
Nutzlast	C3: Sport und Spielflächen	5 kN/m^2 + 4 kN Punktlast

Mit den Lastbeiwerten nach SIA260:2021 [12] ergibt sich eine Bemessungslast q_d von 16.4 kN/m^2 exklusiv des Eigengewichts des Tragwerks. Bei einer Spannweite von 39.6 m bedeutet das ein Bemessungsmoment von 3215 kNm/m und eine Bemessungsquerkraft von 325 kN/m.

2.2. Anforderungen

Neben den normativ geregelten Tragfähigkeitsnachweisen und Verformungsnachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind vor allem die Schwingungsanforderungen speziell zu definieren. Die Eigenfrequenz von weitgespannten Trägern mit entsprechender Belastung liegt fast schon gezwungenermaßen im Resonanzbereich von gehenden oder springenden Personen. Um diesem Umstand gerecht zu werden, müssen gewisse Nutzungen (z.B. Konzerte) speziell geregelt werden.
Der Abstand zwischen den Trägern soll weder zu gross, noch zu klein gewählt werden. Ein grosser Abstand erhöht die wirkenden Lasten und vergrössert dadurch die erforderliche Trägerhöhe, während ein zu kleiner Abstand das Raumkonzept stört und dadurch das Erlebnis der benutzenden Personen schmälert. Ebenfalls ist die Gliederung der weiteren Stockwerke zu berücksichtigen, um zu verhindern das einzelne Träger abgefangen werden müssen. Der Regelabstand wurde im betrachteten Projekt deshalb auf 5.76 m festgelegt. Abbildung 1 zeigt eine der geplanten Eishallen mit den vorgespannten Trägern.



Abbildung 1: Eishalle (© Boltshauser Architekten [6])

2.3. Parameter und Nachweise

Der Entwurf des beschriebenen Tragwerks reduziert die möglichen Parameter stark. In einer frühen Projektphase gibt es dennoch einige Stellschrauben zur Optimierung des Systems. Nachfolgend werden die Entwurfsparameter aufgelistet:
- Sprungmass
- Trägerhöhe
- Trägertyp (Vollquerschnitt, Fachwerk, Unterspannung)
- Materialisierung

Neben den Tragfähigkeitskriterien wird in den folgenden Untersuchungen die Gebrauchstauglichkeit mittels folgender beider Kriterien bewertet:
- Quasi-ständige Durchbiegung inkl. Kriechen < L/300 (=132 mm)
- Durchbiegungen durch veränderliche Einwirkungen < L/350 (=113 mm)

Im folgenden Kapitel werden nun bereits bekannte Lösungen präsentiert und einander gegenübergestellt.

3. Mögliche Konstruktionen

Es wurden vier Möglichkeiten betrachtet. Variante A entspricht einer Massivholzdecke und zeigt dadurch den unteren Grenzwert der Materialeffizienz. Variante B stellt die maximale Möglichkeit mit einem konventionell blockverklebten Brettschichtholzträger dar, wobei die Trägerhöhe von 2.8 m an der absoluten Grenze des heute technisch machbaren oder sogar leicht darüber ist. Die Varianten C und D zeigen Lösungen mit Fachwerkträgern. Der Unterschied liegt in der zusätzlichen Anwendung von Zugstangen im Untergurt bei Variante D. Durch den Einsatz dieser Zugstangen kann das Sprungmass erhöht werden, da der bewehrte Untergurt mehr Zugkräfte aufnehmen kann. Nachfolgend die Auflistung der Varianten:

- A: Brettschichtholzträger GL24h 240x1500 mm, Sprungmass 0.25 m
- B: Brettschichtholzträger GL28c 600x2800 mm, Sprungmass 3.1 m
- C: Fachwerkträger GL32h 440x720 mm, h = 3820 mm, Sprungmass 3.1 m
- D: Fachwerkträger GL32h 440x720 mm, h = 3820 mm Sprungmass 4.0 m, mit Zugstangen

Bei allen Varianten wurde das Optimierungspotential der Materialisierung nur begrenzt ausgeschöpft. So wurde zwar die höchste Festigkeitsklasse für Nadelhölzer verwendet wo notwendig, aber weitere Optimierung, wie die Verwendung von Laubhölzern wurde ausser Acht gelassen. In der folgenden Tabelle sind die Resultate zusammengefasst. Zuerst die Verformung durch die quasi-ständige Einwirkung (inkl. 60% der Nutzlast) inkl. Kriechen und darunter die erforderliche Überhöhung zur Einhaltung des L/300-Kriteriums (max. 132 mm). Damit dieser Ansatz verfolgt werden kann, darf die Verformung durch die charakteristischen veränderlichen Lasten nicht grösser als L/350 (113 mm) sein. Dies wird in der dritten Zeile dargestellt. Danach werden die Ausnutzungen des Biege- und Querkraftnachweises gezeigt. Schliesslich erfolgt noch die Betrachtung des benötigen Holzvolumens pro Quadratmeter Deckenfläche. In der ersten Zeile wird der Wert für das Primärtragwerk angegeben und in der zweiten der Wert für das darüberliegende Sekundärtragwerk.

Tabelle 2: Varianten

Varianten	A	B	C	D
Quasi-ständige Verformung inkl. Kriechen	284 mm	194 mm	115 mm	132 mm
Erforderliche Überhöhung zur Einhaltung L/300	152 mm	62 mm	0 mm	0 mm

Verformung veränderliche Einwirkungen	41 mm	40 mm	26 mm	31 mm
Ausnutzung Biegung (und Zug) und Querkraft	1.0 / 0.4	1.0 / 0.8	1.0 / 0	0.9 / 0
Volumen pro m^2 + Sekundärstruktur [m^3/m^2]	1.57	0.54 + 0.22	0.32 + 0.22	0.25 + 0.24
Abbildung	Abb. 2	Abb. 3	Abb. 4 (L)	Abb. 4 (R)

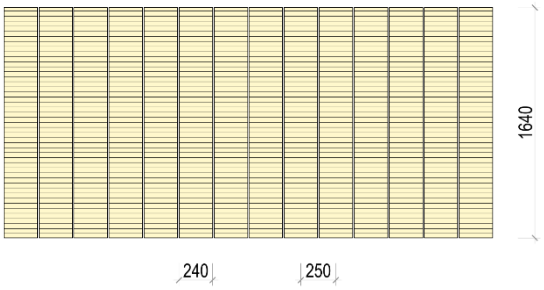


Abbildung 2: Variante A: GL24h 240x1500 mm

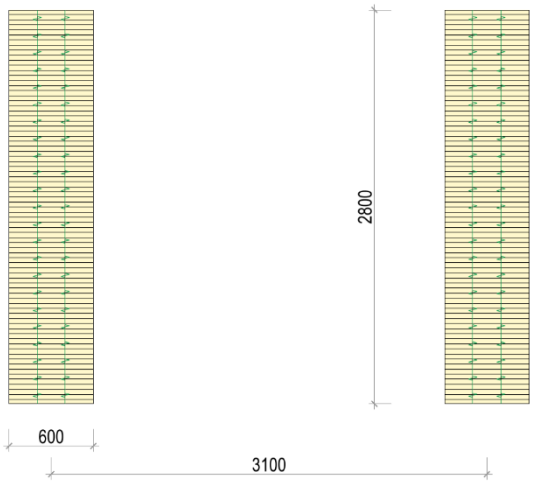


Abbildung 3: Variante B: GL28c 600x2800 mm

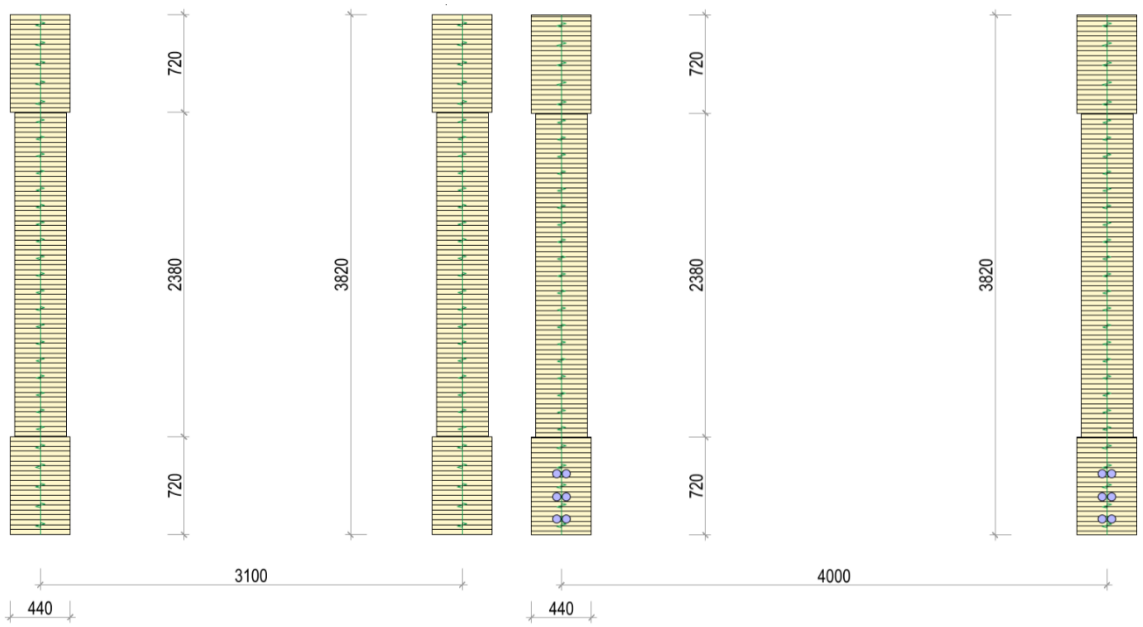


Abbildung 4: links: Variante C, rechts Variante D

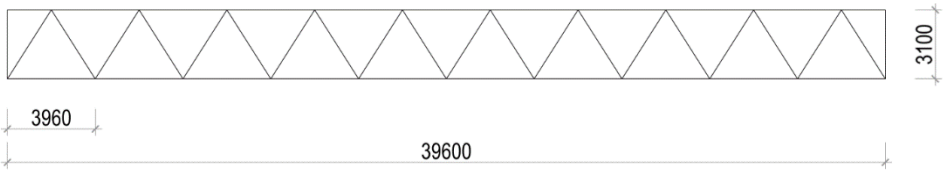


Abbildung 5: Fachwerkvarianten im Längsschnitt

3.1. Gegenüberstellung und Diskussion

Die untersuchten Varianten wurden so dimensioniert, dass die Verformungs- und Tragfähigkeitskriterien eingehalten sind. Das Verformungskriterium kann in den Fällen A und B nur durch eine Überhöhung in der Produktion erreicht werden. Dies deutet darauf hin, dass die Steifigkeit zu gering ist, um die standardmässigen Schwingungskriterien zu erfüllen. Auch die Fachwerkträger, trotz höherer Steifigkeit, können so nicht nachgewiesen werden. Für Variante D wird die Eigenfrequenz und die Grenzbeschleunigung abgeschätzt. Dies wird mit den Formeln aus dem vorliegenden Entwurf des Eurocodes (prEN 1995-1-1:2023 [7]) gemacht. Dabei wird für die Ermittlung der Eigenfrequenz nur rund 10% der Nutzlast angesetzt. Dadurch ergibt sich eine erste Eigenfrequenz von f_1 = 1.3 Hz. Über die modale Masse und unter der Annahme eines Dämpfungsgrades von 2% ergibt sich eine Grenzbeschleunigung von a_{rms} = 0.006 m/s^2 bei der Anregung durch eine Person. Eine 20-mal höhere Anregungsmasse (also 20 Personen) würden zu einer Beschleunigung von a_{rms} = 0.13 m/s^2 führen, die für Menschen auf der Decke zu spüren wäre und im Bereich des Grenzwertes für Grenzbeschleunigungen bei Wohnhäusern liegt.

Die Fachwerklösungen haben eine deutlich besser Materialeffizient, als die Massivholzträger und sind für den vorliegenden Fall die geeignetere Lösung. Theoretisch wäre es möglich das gewünschte Sprungmass zu erreichen, die erforderliche Höhe der Fachwerke wäre aber in diesem Fall wohl zu hoch für das Raumkonzept.

Im folgenden Kapitel werden die Untersuchungen zu den vorgespannten Trägern vorgestellt und der sich daraus ergebende Bemessungsablauf erklärt.

4. Vorgespannte Träger

4.1. Konzept

Das Konzept der vorgespannten Brettschichtholzträger wurde aus dem Stahlbetonbau übernommen. Von entscheidender Bedeutung ist der parabolische Spannkabelverlauf. Dieser wird erreicht durch Einfräsungen in die Trägerhälften. Nur durch ein Blockverkleben mehrerer Teile wird dies möglich. Der parabolische Spannkabelverlauf führt zum einen zu einer Drucknormalspannung im Querschnitt und zum anderen zu einer Biegebeanspruchung durch die Umlenkkräfte. So tritt nach dem Vorspannen ein Spannungszustand auf, bei dem oben im Träger Biegezugspannungen und unten Biegedruckspannungen auftreten. Wird der Träger dann belastet überlagern sich die Spannungen durch äussere Kräfte mit den Spannungen durch die Vorspannung, wodurch die Tragfähigkeit gesteigert wird.

4.2. Versuchsaufbau

Das Biegeverhalten wurde anhand von Tests an 11 Probekörpern analysiert. Drei Hauptparameter wurden verändert: (i) Die Holzart und die Festigkeitsklasse: Fichte (GL24h) und Esche (*Fraxinus excelsior* L., GL40h); (ii) Spannweite und Größe: 7.20 m (h = 400 mm, b = 120 mm) und 10.50 m (600/150 mm); (iii) Verbund: kein Verbund zwischen Spannglied (Monolitzen) und Holz und Verbund mit Mörtelfüllung zwischen Spannglied und gewelltem Hüllrohr sowie zwischen Hüllrohr und Holz. Die Querschnitte aller Typen sind in Abbildung 8 dargestellt.
Es wurden verschiedene Festigkeitsklassen und Holzarten verwendet, um den Berechnungsansatz auf verschiedenen Versagenslastniveaus zu validieren und das vorhergesagte Druckversagen parallel zur Faser bei verschiedenen Materialien zu beobachten.
Zwei verschiedene Spannweiten und Querschnittsgeometrien wurden getestet, um den Einfluss eines möglichen Volumeneffekts zu untersuchen. Die Prüfung von Prüfkörpern mit und ohne Verbund sollte die Analyse von Unterschieden im Versagensverhalten, der Biegesteifigkeit und der Biegekapazität ermöglichen. Die Versuche und Auswertung wurde im Rahmen der Masterarbeit von Althaus [8] durchgeführt. Eine detailliertere Beschreibung und Auswertung ist in Muster et. al [9] zu finden.

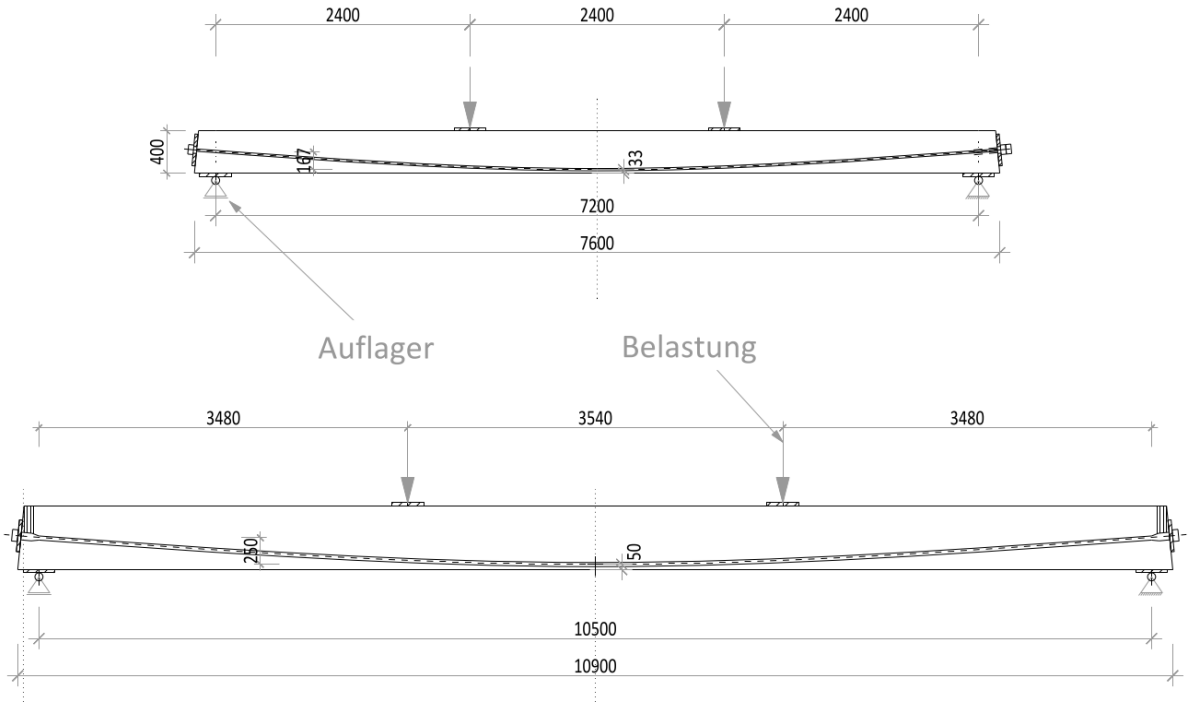


Abbildung 6: Längsschnitt durch Prüfkörper (oben 7.2 m, unten 10.5 m)

Jeder Träger wurde in zwei Hälften hergestellt, in die die Öffnungen gefräst wurden, bevor sie zusammengeklebt wurden (Abbildung 5a). In diese Öffnung wurden bei den Proben ohne Verbund Monolitzen eingestossen. Bei den Probekörpern mit Spanngliedern

im Verbund wurde das Kunststoff-Hüllrohr vor dem Blockverkleben auf eine Hälfte montiert. Parallel zur Montage des Hüllrohrs wurden die Spannringe und Dichtungen der äußeren Kammer angebracht.

In Abbildung 7a sind die beiden Kammeröffnungen für die Injektion des Mörtels zu sehen. Zunächst wird die innere Öffnung, die sich näher an der Mitte des Trägers befindet, verwendet, um den Hohlraum zwischen Holz und Hüllrohr zu füllen (Abbildung 7b). Nach dem Aufbringen der Vorspannung wird die äußere Öffnung zum Füllen des Hüllrohrs mit den Spannglieder verwendet (Abbildung 7c).

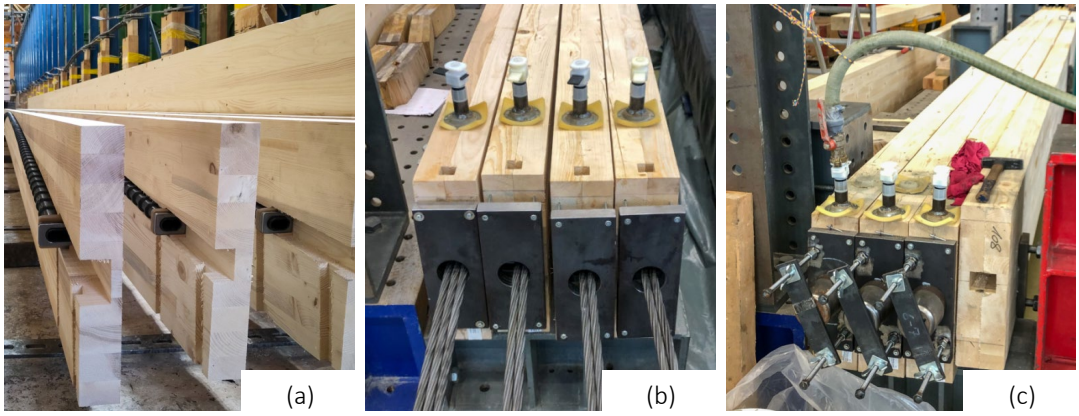


Abbildung 7: Produktionsschritte mit Verbund

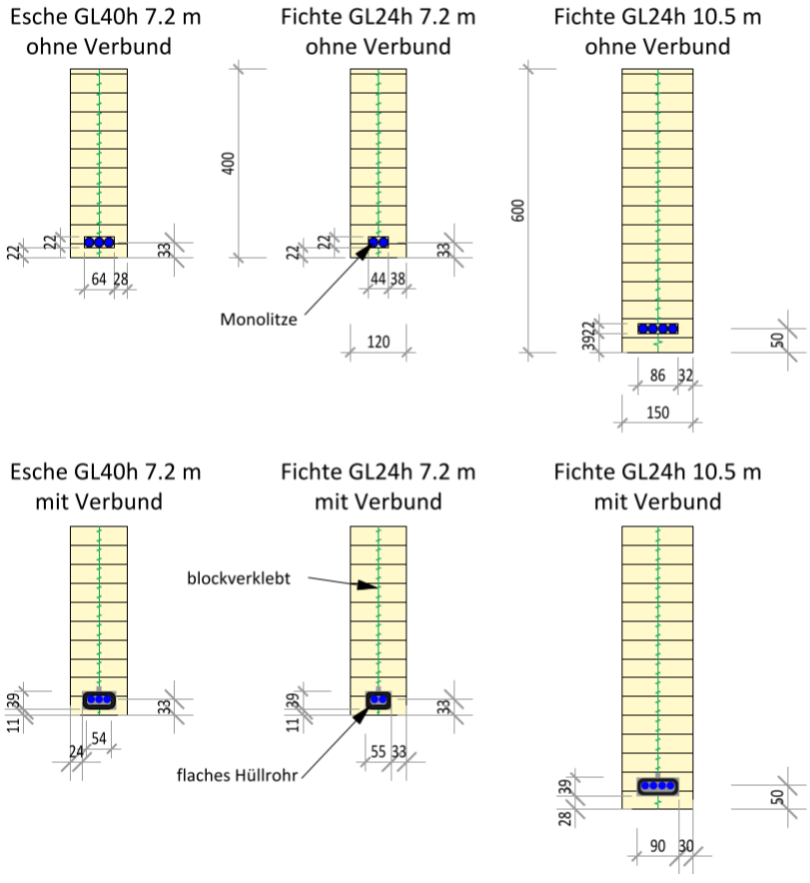


Abbildung 8: Querschnitt durch die verschiedenen Prüfkörper

4.3. Resultate

Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen die Kraft-Verformungsverhalten der Prüfkörper ohne Verbund (links) und das Verhalten der Prüfkörper mit Verbund (rechts).

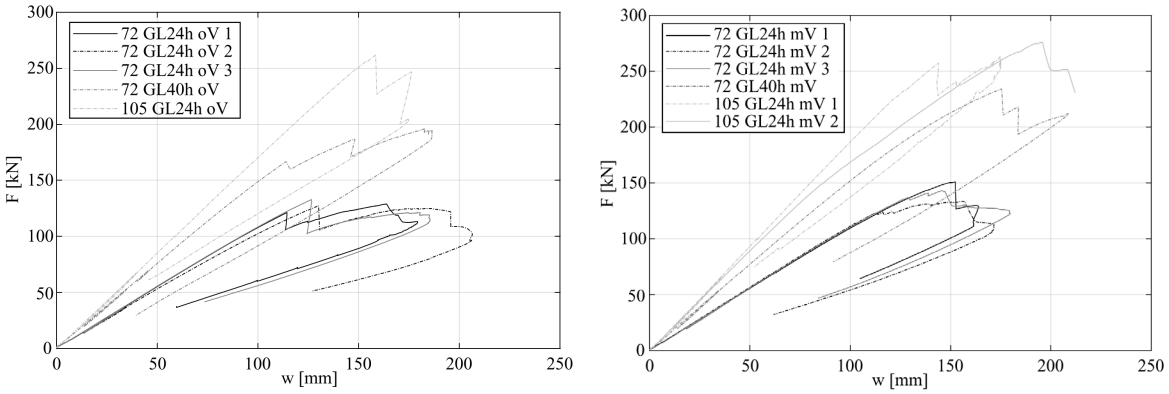


Abbildung 9: Last-Verformungs-Verhalten (links ohne Verbund, rechts mit Verbund)

Alle Prüfkörper zeigten zunächst eine lineare elastische Phase, gefolgt von einer stark nichtlinearen Phase. Bei den beobachteten Versagen handelte es sich entweder um Druckversagen an der Oberseite des Trägers oder um Zugversagen an der Unterseite. Die meisten Proben zeigten eine Abnahme der Steifigkeit nach dem Auftreten der ersten Risse. Da die Versuche weggesteuert durchgeführt wurden, muss die in den Kurven in Abbildung 9 erkennbare Duktilität relativiert werden. Nicht alle Proben zeigten einen Anstieg des Widerstands nach dem Auftreten der ersten Risse. Ein vollständig sprödes Versagen, d. h. ein vollständiger Verlust der Tragfähigkeit nach dem ersten Versagen, konnte jedoch nicht beobachtet werden. Darüber hinaus zeigen die Entlastungspfade, dass alle Proben (mit Ausnahme von 105 GL24 mV2, der während der Injektion geschwächt wurde) eine signifikante Resttragfähigkeit und Steifigkeit aufweisen.

Ausgehend von der gleichen Biegefestigkeit wurde ein Vergleich der gemessenen Tragfähigkeit der vorgespannten Träger mit der theoretischen Tragfähigkeit von Trägern ohne Vorspannung durchgeführt. Bei GL24h führt das Vorspannen der Brettschichtholzträger ohne Verbund zu einer Erhöhung der Tragfähigkeit um 64%. Mit Verbund wird eine Erhöhung um 77% erreicht.

4.4. Bemessung

Die Auswertung der Versuche zeigte, dass die Formel aus der SIA [10], resp. dem Eurocode [7] für gleichzeitig wirkende Drucknormalspannung und Biegespannungen eine akkurate Prognose des Versagens ermöglicht:

$$\left[\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right]^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

Ebenfalls kompensiert die Vorspannung im Auflagerbereich einen Teil der, durch äussere Lasten, wirkende Querkraft. Für die Bemessung mit Verbund müssen verschiedene Zustände überlagert werden. Der erste Zustand bildet den Zustand des Vorspannens ab. Dabei ist das Spannkabel noch nicht mit dem Träger verbunden. Der zweite Zustand ist dann der gebrauchs- resp. tragsicherheitsrelevante Zustand, in dem der Verbund hergestellt wurde und zusätzliche Auflasten und Nutzlasten wirken. In diesem Zustand werden auch Spannkraftverluste und Kriechen berücksichtigt.

Bei den Versuchen wurde die Vorspannkraft mittels Stahlplatten in die Prüfkörper eingeleitet. Hier zeigte sich, dass durch die Spreizkräfte und Umlenkkräfte Querzugrisse im Holzträger entstehen können.

4.5. Weit gespannter Träger

Die Erkenntnisse aus den Versuchen und den begleitenden Berechnungen und Simulationen erlauben die Bemessung von anderen Spannweiten und Trägerdimensionen. Die Bemessung der vorgespannten Träger im vorgestellten Projekt führte Chiara Bürgi im Rahmen ihrer Masterarbeit an der ETH Zürich [11] durch. Gewählt wurde eine Vorspannung im Verbund und der Trägerabstand wurde auf 5.76 m festgelegt.
Die verschiedenen Zustände (t=0 und t=∞) und die unterschiedlichen Lastfälle (Leiteinwirkung Nutzlast und Vorspannung γ_p = 1.0, resp. nur ständige Lasten mit γ_G=0.8 und Vorspannung mit γ_P = 1.5) zeigten interessante Ergebnisse. Nachfolgende Grafik zeigt die Erfüllung (oder Ausnutzung) des Interaktionsnachweis in Abhängigkeit des Vorspanngrades (Anteil Vorspannung an ständigen Lasten). Es gibt im betrachteten Fall nur ein kleiner Bereich, in dem sowohl der Nachweis für Leiteinwirkung Nutzlast (_pos) und auch der Nachweis mit nur 80% der ständigen Lasten und der 1.5-fachen Vorspannkraft (_neg) erfüllt sind. Hier kann diskutiert werden, ob der Lastbeiwert von 1.5 für die Vorspannkraft sinnvoll ist oder nicht, da bei der Vorspannung Messungen des Öldrucks im Vorspannzylinder durchgeführt werden können, wodurch die Vorspannkraft sehr genau bestimmt werden kann.

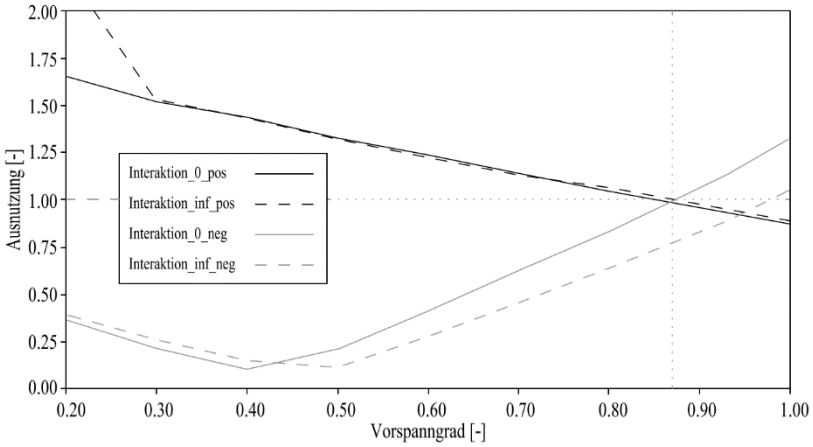


Abbildung 10: Interaktionsnachweis in Funktion des Vorspanngrades für das maximale (pos) und minimale (neg) Moment (nach Bürgi [11])

Der vorgespannte Träger besitzt die gleichen Dimensionen wie Variante B, jedoch mit höherem Sprungmass. Es sind insgesamt 44 Monolitzen erforderlich, welche mit einem Bogenstich von 1.24 m durch den Träger laufen und auf rund 8200 kN vorgespannt werden. Um diese grosse Kraft in den Träger einleiten zu können, werden am Trägeranfang und -ende Betonscheiben eingeplant. Diese Scheiben dienen zur Verankerung der Spannglieder und verteilen die Vorspannkraft nahezu gleichmässig über die Trägerhöhe. Für eine solche Lösung ergeben sich folgende Werte:

- Quasi-ständige Verformung inkl. Kriechen: 74 mm
- Erforderliche Überhöhung zur Einhaltung L/300: 0 mm (153 mm Vorspannung)
- Verformung veränderliche Einwirkungen: 80 mm
- Ausnutzung Biegung 1.0, Querkraft 0.94
- Volumen pro m^2: 0.29 + 0.28 m^3/m^2



Abbildung 11: Variante vorgespannte Träger

5. Diskussion

5.1. Gegenüberstellung

In der nachfolgenden Tabelle erfolgt die Gegenüberstellung aller Varianten, wobei die Dimensionen, das mögliche Sprungmass, die Verformungen durch veränderliche Lasten, das benötigte Holzvolumen pro Quadratmeter Decke sowie die benötigten Kilogramm Stahl pro Quadratmeter Decke aufgelistet sind.

Tabelle 3: Gegenüberstellung aller Varianten (PT BSH: vorgespannter Träger)

	A: BSH 1.64	B: BSH 2.8	C: FWK	D: FWK ZS	PT BSH
Dimension	1.64 x 0.24	2.80 x 0.60	3.82 x 0.44	3.82 x 0.44	2.80 x 0.60
Sprungmass	0.25	3.1	3.1	4.0	5.76
W_{NL} [mm]	41	40	26	31	80
m^3 / m^2	1.57	0.54 + 0.22	0.32 + 0.22	0.25 + 0.24	0.29 + 0.28
kg Stahl/m^2	0	0	>1	>1	9

Die Gegenüberstellung zeigt, dass der vorgespannte Träger eine ähnliche Materialeffizienz aufweist, wie der Fachwerkträger mit Zugstangen. Im Vergleich zu diesem sind die Verformungen grösser, was nicht nur auf das grössere Sprungmass zurückzuführen ist, sondern auch zeigt, dass die Vorspannung keine wesentliche Steifigkeitszunahmen mit sich bringt. Was aber ein Vorteil der vorgespannten Lösung ist, ist das gutmütige Tragverhalten. Die Träger versagen nicht schlagartig, viel eher treten erste Risse (deutlich hör- und sichtbar) auf, ohne dass dies schon die Traglast markiert. Bei einigen Trägern konnte die Last danach nochmals gesteigert werden, mindestens aber erfolgt eine Steifigkeitsabnahme und grosse Verformungen treten bei gleichbleibendem Widerstand auf. Dies ermöglicht einem Tragwerk Lasten umzulagern und erhöht dadurch die Robustheit.

5.2. Ausblick

Zurzeit laufen an der Fachhochschule Nordwestschweiz weitere Versuche an 25 m weit gespannten Trägern. Mit diesen Versuchen soll der definitive Proof-of-Concept erbracht werden, und das Zusammenspiel der seitlichen Betonscheiben mit dem dazwischenliegenden Brettschichtholzträger untersucht werden. Um vorgespannte Träger mit lokaler Lasteinleitung (Verankerung) auszuführen, sind ebenfalls weitere Untersuchungen notwendig, um die in den Versuchen beobachteten Querzugrisse im Auflagerbereich besser zu verstehen und sicher bemessen zu können.

6. Literaturverzeichnis

[1] Rug, W; Pötke, W (1988) Vorspannung von Holzträgern. Bauplanung – Bautechnik 42 (6) 252:257.

[2] Gräfe, M; Dietsch, P; Hipper, A; Wild, M; Winter, S (2018) Vorspannung von Brettsperrholzkonstruktionen, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, München.

[3] Gessner, S; Spelter, A; Walter, B; Judt, P; Hegger, J (2019) Vorgespannte Bauteile im konstruktiven Holzbau - Theoretische und experimentelle Untersuchungen von vor-gespannten Brettstapeldeckenelementen, Bautechnik, 96 (11)- 800:814.

[4] Buchanan, A; Palermo, A; Carradine, D; Pampanin, S (2011) Post-tensioned timber frame buildings. Structural Engineers, 89 (17) 24:30.

[5] Wanninger, F (2015) Post-tensioned timber frame structures. Doctoral thesis (No. 22815), Institute of structural engineering, ETH Zurich.

[6] Boltshauser Architekten AG (2023).

[7] Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings; German version prEN 1995-1-1:2023.

[8] Althaus, M (2022) Vorgespannte Holzträger – experimentelle Untersuchungen. Masterarbeit, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich.

[9] Muster M., Ehrhart T., Althaus M., Küng H., Rogenmoser P., Rahner K., Gnägi A., Frangi A. (2023) Post-tensioned glulam beams -Experimental investigations of bonded and unbonded systems, International Timber Engineering Network INTER, Paper 56-7-6, Biel, Schweiz.

[10] SIA 265 (2021) Holzbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Schweiz.

[11] Bürgi, C (2022) Vorgespannte Holzträger – analytische und numerische Untersuchungen. Masterarbeit, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich.

[12] SIA 260 (2013) Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Schweiz.

Block C

Mehrgeschossiger Holzbau heute – zuverlässig, innovativ und wirtschaftlich

Konzepte für die Tragstruktur von schlanken, hohen Holzbauten

Charles Binck
ETH Zürich
Institut für Baustatik und Konstruktion
Zürich, Schweiz



Andrea Frangi
ETH Zürich
Institut für Baustatik und Konstruktion
Zürich, Schweiz



Konzepte für die Tragstruktur von schlanken, hohen Holzbauten

1. Einleitung

Städte wachsen fortwährend in die Höhe. Auch im Holzbau ist ein kontinuierlicher Trend zu verzeichnen, zunehmend in die Vertikale zu bauen [1,2]. Mit stetig neuen Rekorden imponieren Hochhäuser aus Holz in der Höhenskala und beeindrucken mit bisher ungewöhnlichen Pilotprojekten [3–10]. Meist lösen sie durch ihre Höhe Staunen und Bewunderung aus, da die Vertikale im Widerspruch zum natürlichen Baustoff zu sein scheint. Sie besitzen Wahrzeichencharakter und schaffen es mit ausdrucksstarker Symbolkraft auf die Titelseiten der Tageszeitungen. Auch wenn der Drang nach Höhe nicht immer nur der reinen Notwendigkeit nach rentabler Flächenausnutzung geschuldet ist, so verleiht das heutige Holzhochhaus einer Stadt oder einer Unternehmung ein exklusives Manufakt als Markenzeichen zum Self Branding.

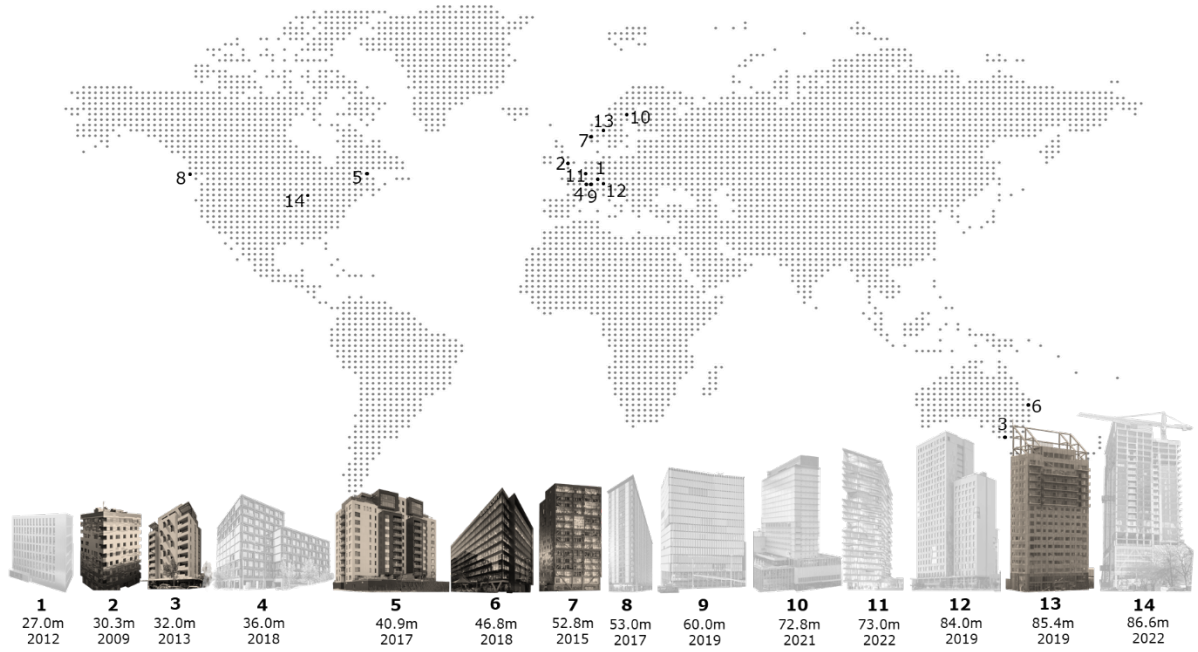


Abbildung 1: Höhenentwicklung des mehrgeschossigen Holzbaus. In Grau: Hybridbauweise mit Stahlbetonkern oder Stahlfachwerken zur horizontalen Aussteifung. In Braun: Tragwerke mit horizontalem und vertikalem Lastabtrag in Holzbauweise.

Durch die zunehmenden Gebäudehöhen rücken Ingenieur*innen und Unternehmungen in den Vordergrund, wenn es um den integralen Entwurf von Tragstrukturen geht. Denn mit zunehmender Gebäudehöhe gewinnt das Aussteifungstragwerk und damit verbundene bautechnische Aspekte an Bedeutung. Bei den derzeit entstehenden Holzhochhäusern ist das vorherrschende Konstruktionssystem eine Holz-Beton-Hybridkonstruktion, bei der die horizontale Aussteifung des Gebäudes mehrheitlich durch einen inneren Stahlbetonkern gewährleistet wird, Vgl. Abbildung 1. Neben dem Brandschutz hat dies den wesentlichen Vorteil ein schlankes Außentragwerk mit weitestgehend frei gelöster Aussicht zu ermöglichen. Unabhängig der Materialisierung ist diese Bauweise, welche zum «Internationalen Stil» benannt ist, in Europa die vorherrschende Bauart [11]. Mit zunehmendem Bestreben in die Höhe zu bauen, stellt sich jedoch die Frage, mit welchen Tragwerkskonzepten das Bauen mit Holz Potential hat, die Vertikale zu erklimmen.

2. Das Hochhaus

2.1. Gründe des hohen Bauens

Chicago gilt als Geburtsstadt der Hochhäuser. Während New York City zu Beginn des 20. Jahrhunderts dem Trend in die Höhe folgte, werden die meisten Hochhäuser und Wolkenkratzer heute in Asien gebaut [12,13]. Hierbei sind drei Hauptgründe zu nennen, warum die Bürotürme aus Manhattan und Chicago weltweit einflussreich wurden.

Der erste Grund ist die Notwendigkeit nach rentabler Ausnutzung des Baugrundes. Denn die verknappenden Landflächen lassen Grundstückspreise in die Höhe schiessen. Darum stehen die grössten Hochhauscluster der Welt heute an Orten wie Hongkong, Tokio und New York, wo das Angebot an Grund und Boden durch die örtliche Geografie natürlich begrenzt ist und die Effizienz der Immobilienwirtschaft maximiert werden muss [13].

Der zweite Grund, welcher auf ersterem beruht, ist der Bedarf an dichteren Städten als Antwort auf nachhaltigere Lebensmuster. Kompakte Gebäudevolumina führen zu einer effizienteren Infrastruktur [14–16]. Kürzere Wege, koordinierte Wohn- und Arbeits-umgebungen sowie gemeinsame Nutzungen spielen hier eine wichtige Rolle.

Und der letzte wesentliche Grund, der dazu beiträgt hoch zu bauen, ist der Wunsch, ein Unternehmen oder eine Stadt zu vermarkten. Hochhäuser sind von weither sichtbar und lenken Aufmerksamkeit auf sich. So werden viele als Ikonen mit ausdrucksstarken Strukturen und repräsentativen Formen konzipiert, Vgl. [13,17]. Die Immobilienwirtschaft ist bereit für Image und Prestige zu investieren und nutzt die Höhe gerne zum Prahlen. «*High rise residential towers embody the best of who we are and who we want to be*», so Donald J Trump in [18], mit seinem Vorwort zu seinen Bauten. Hochhäuser sind jedoch nicht nur Firmen-Marketingtools, wie z. B. das Chrysler-Gebäude in New York, das Lachta-Zentrum in Sankt Petersburg oder die Roche Türme in Basel, die alle die Vitalität eines Unternehmens darstellen. Heute prägen Hochhäuser zunehmend auch die Skylines von Städten und stellen die Prosperität und die Lebendigkeit einer Stadt oder eines Landes dar. Diese Entwicklung ist nach wie vor Stolz- und Prestigesache jeder Stadt, eine Agglomeration von Hochhäusern in ihrer Silhouette zu haben und kann bis in die Antike zurückverfolgt werden, als Kathedralen die Städte überragten [13,17,19].

2.2. Chronologie der Tragwerksentwicklung

Seit dem Beginn der Hochhausentwicklung haben sich im Tragwerksentwurf eine Vielzahl von Konstruktionssystemen entwickelt, welche sich hinsichtlich Typus und Art der Systeme unterscheiden. Auch wenn die beim Bau verwendeten Konstruktionsprinzipien im Laufe der Zeit weiterentwickelt wurden, können sie grob nach Typ und Art unterteilt werden. Hierbei bilden drei wesentliche Tragwerkstypologien das Gros der Konzepte ab:

- Biegesteife Rahmen
- Ausfachungen mit Verbänden, bzw. Diagonalen
- Schubwände

Abbildung 2 illustriert chronologisch die Tragwerksentwicklung von Hochhäusern in Stahl- und Stahlbetonbau. Die Konzepte veranschaulichen die wesentliche Entwicklung der Stab- und Scheibentragwerke. Insbesondere im Zusammenführen unterschiedlicher Primärsysteme und deren Verbundbauweisen entwickeln sich die Konzepte im Stahl- und Stahlbetonbau bis heute noch weiter, Vgl. [11,17,20–24].

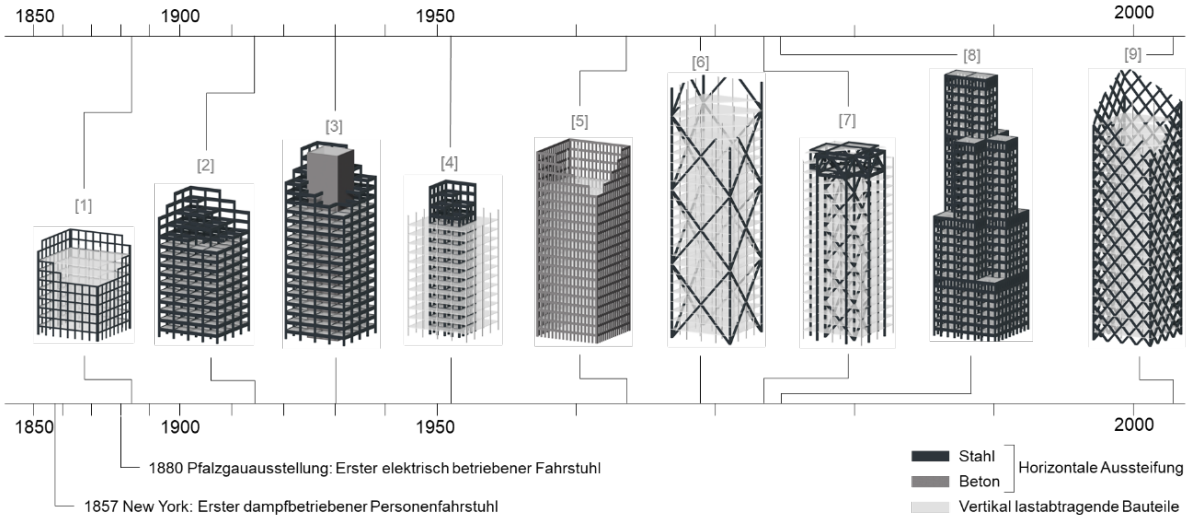


Abbildung 2: Tragwerksentwicklung im Hochhausbau. Skizzenhafte Abbildung auf Basis dokumentierter Erstbauten aus [11,17,20–26]. Darstellung wesentlicher Tragwerkskonzepte in der jeweiligen Materialisierung, welche erstmals zum Tragen kam.

Die Entwicklung des Rahmensystems in Eisen und Stahl ermöglichte das wirtschaftliche Bauen von Hochhäusern. So etablierten sich bereits Anfang des 20. Jahrhunderts 20-geschossige Gebäude zum üblichen Bautyp der Geschäftszentren amerikanischer Städte. Das Empire State Building, was mit einer Bauzeit von 16 Monaten bis heute das schnellst gebaute Hochhaus seiner Größe ist, verdankt dies – neben den 3000 zeitgleich auf der Baustelle werkenden Arbeitern und dem exemplarischen Projektmanagement – seinem Tragwerkkonzepts [25]. Die genietete Stahlskelettkonstruktion wurde innert 23 Wochen auf 102 Geschosse vollständig erstellt [25]. Die Rahmenskelettbauweise entstammt aus der Gründerzeit, wo der Begriff «form follows function» aufgegriffen wurde und 1896 vom damals als «father of skyscraper» benannten Architekten Louis Sullivan zum Designleitsatz in der Architektur definiert wurde [27]. Die maximierte Repetition der Bauteile und Anschlüsse kompensiert hier oftmals den höheren Materialverbrauch weshalb der Bauweise – insbesondere im Stahlbau – noch heute Erfolg zugesprochen wird. Aus der repetitiven, orthogonalen Bauweise geht eine einfache Montage hervor, welche auf transportgerechten, kleinen Bauteilabmessungen basiert. Beim Stockwerksrahmen übernimmt das Rahmentragwerk eine doppelte Rolle: Neben der vertikalen Lastableitung dient es parallel dem horizontalen Lastabtrag infolge Wind- und Erdbebeneinwirkungen bei und bestätigt im Kontext der diagonalfreien Öffnungen den Leitsatz: Form folgt der Funktion.

Gegenüber den Rahmentragwerken haben Fachwerkkonzepte im Hochhausbau eine klare Aufteilung zwischen vertikaler und horizontaler Lastableitung. Während die Systeme in der Regel auf die horizontale Aussteifung ausgelegt sind, werden vertikale Lasten über schlanke Stützen in den Baugrund geleitet. Dies hat den wesentlichen Vorteil einer «hygienischen» Lastabtragung, innerhalb welcher Kräfte zielgerichtet über vordefinierte Bauteile abgeleitet werden. Fachwerkkonzepte bilden klare und leistungsstarke Tragwerkskonzepte, da die Bauteile des vertikal und horizontal lastabtragenden Systems rein axial beansprucht werden und über getrennte Lastfallkombinationen bemessen werden können. Schnittgrößeninteraktionen infolge kombinierter Lastfallkombinationen entfallen in den Diagonalen, weshalb schlankeste Querschnitte dimensioniert werden können. Im Gegensatz zu Stahl- und Stahlbetonkonzepten stellen sie im Holzbau jedoch einige konstruktive Herausforderungen dar. Insbesondere innerhalb der Anschlusspunkte zwischen den Streben und vertikal lastabtragenden Bauteilen fordert die Bauteilführung in gleicher Ebene die Planung der Kraftdurchleitung wesentlich heraus. Die zusätzlichen montagebedingte Toleranzanforderungen infolge dem Kranheben schräger Bauteile erschweren die Planung und Ausführung der kraftschlüssigen und hochleistungserforderlichen Anschlüsse wesentlich.

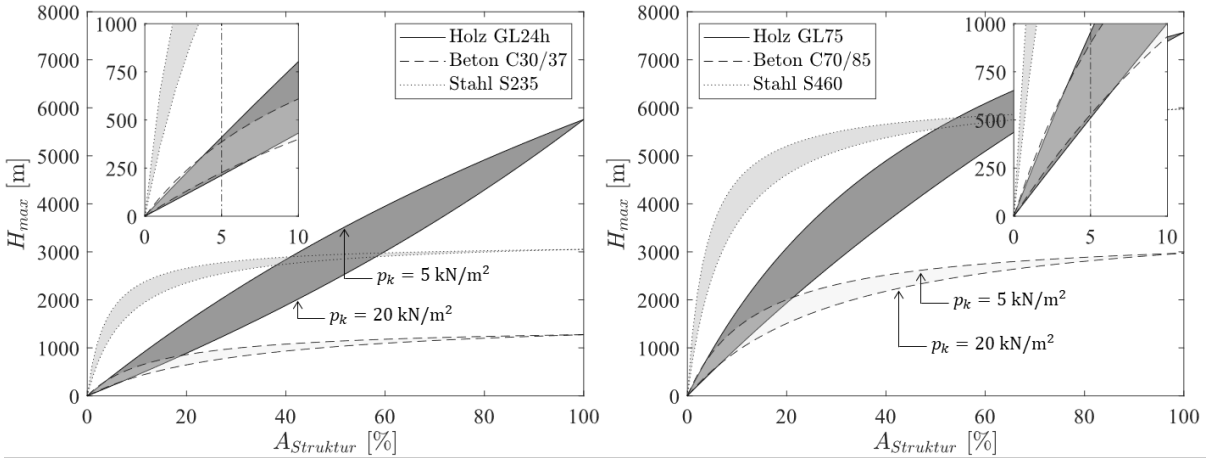
Schubwände bilden im Hochhausbau in Form von Erschließungskernen heute die meistverbreiteten Aussteifungssysteme in Europa [11,17]. Mit den inneren, betonierten Kernen greifen die Tragwerke die Vorteile der höheren Masse für die thermische Bauteilaktivierung,

die akustische Schall- und mechanische Schwingungseigenschaften auf. Das Aussteifungskonzept kann hier als symbiotisches System verstanden werden, indem es neben der Tragwerkslösung zeitgleich den Brandschutz und die Bauphysik löst. In der Architektur von Hochhäusern zeichnet der innere Betonkern in Form seiner Symbiose somit ein multifunktionaler «Allrounder». Durch die Konzentration der Schubwände innerhalb des Gebäudezentrums wird eine höchstmögliche Auflösung der Außenstruktur ermöglicht, welche lediglich noch die Funktion des vertikalen Lastabtrag gewährleistet. Die hierdurch weitestmöglich frei resultierende Aussicht ist wesentlicher Grund, weshalb die Bauweise mit ihrer vorgehängten Glasfassade als Prototyp für Bürobauten von Chicago durch die Welt ging.

Aus den oben skizzierten Gründen zeichnet die Hybridbauweise mit innerem Betonkern auch die angesehenste Aussteifungsform in den sich aktuell entwickelnden «Holz»-hochhäusern aus. Jedoch stellt sich infolge der wesentlichen Emissionsbeiträgen von Beton [28,29] die Frage alternativer Bauweisen in Holz. Welche Tragwerkskonzepte zeigen Alternativen in Holz auf? Wie hoch ist der Fußabdruck möglicher Holzstrukturen hinsichtlich Flächenverbrauch im Gebäude, Ressourcenverbrauch und Ökobilanzierung? Können sich die Bauten wirtschaftlich beweisen? Sind Hochhäuser aus Holz sinnvoll? Wo liegen die Grenzen? Auf letztere Frage soll in diesem Beitrag eingegangen werden.

2.3. Grenzen des Holzbaus

Unter reiner Betrachtung der vertikalen Lasten könnten Hochhäuser aus Holz aufgrund der Materialleichtigkeit mehrere Kilometer hochwachsen, Vgl. Abbildung 3. In Abhängigkeit der Geschosslasten p_k und der unterschiedlichen Materialen sind die Grenzen der Gebäudehöhen H_{max} in Abhängigkeit des Flächenanteils vom Tragwerk veranschaulicht. Unter Vernachlässigung von Bauteilknicken, horizontaler Gebäudestabilisierung, und Sicherheitsbeiwerten, stellt Abbildung 3 die Höhengrenzen von Gebäuden dar, bevor die Bauten unter Annahme der normierten Festigkeiten versagen würden.



a) b)

Abbildung 3: Grenzen der Gebäudehöhen infolge vertikalem Lastabtrag. a) Herkömmliche Materialgüten. b) Hochleistungsmaterialien. Abbildung der maximalen Höhe H_{max} gegenüber des grundrissbezogenen Flächenanteils des Tragwerks $A_{Struktur}$. Die markierten Höhenspannen innerhalb der Materialen beziehen sich auf Geschossdeckenlasten von p_k = 5.0 kN/m² (obere Kurven) bis p_k = 20.0 kN/m² (untere Kurven).

Abgebildet sind die Grenzen für Einwirkungen und Materialwiderstände auf charakteristischem Niveau und konstanten Geschosshöhen von h =3.5 m. Die charakteristischen Einwirkungen p_k beziehen sich auf die Geschossdeckenlasten infolge Eigengewichts, Auflasten und Nutzlasten. Abbildung 3 gilt für Grundrisse beliebiger Form und variabler Grundrissfläche. Obgleich diese theoretische Höhenauslotung für die Konzeption von Neubauten irrelevant ist, verdeutlicht sie das Potential der jeweiligen Materialien. Aufgrund der hohen Festigkeit von Stahl und der verhältnismäßig geringen Geschossdeckenlasten von p_k = 5.0 kN/m² bis p_k = 20.0 kN/m² ist das Material gegenüber Holz und Beton unschlagbar. Jedoch belegt die Abbildung auch, dass Holztragwerke infolge ihrer leistungsstarken Beziehung von Festigkeit zu Rohdichte den Betonbauten im Hochbau nicht unterlegen sind. Unter

Ansatz hoher Strukturflächenanteile wären märchenhafte Höhen möglich. Praktische Relevanz hat Abbildung 3 jedoch nur im linken Teil, für Strukturflächenanteile bis zu 5 % der Grundrissfläche. Denn gemäss [21] und [30] zeigen sich Immobilien nur rentabel, wenn eine globale Flächenausnutzung von mindestens 70-80 % erreicht wird. Hiervon sollte das Tragwerk für Bauten bis 200 m auf maximal 5 % ausgelegt sein, damit das Mass infolge Gebäudeinfrastruktur, Aufzugsanlagen und Erschliessungszonen nicht weiter gestreckt wird. Unter reiner Betrachtung der vertikalen Lasten und Vernachlässigung von Sicherheitsbeiwerten wären die Höhengrenzen für Holzbauten demnach zwischen 400 m (GL24h) bis 800m (GL75h) gesetzt.

Die Bauwerkshöhe ist jedoch grundsätzlich weniger eine Grenze des Materialwiderstandes infolge Erdanziehungskraft als vielmehr eine Frage der ökonomischen Rentabilität infolge zu erreichender Nutzfläche und damit einhergehenden Aufwänden. Und diese ist neben den vertikal lastabtragenden Bauteilen insbesondere dem horizontalen Aussteifungstragwerk unterworfen. Denn das Ausloten der maximalen Höhe bestimmt Letzteres. Der Zusammenhang steht in direktem Kontext zu den lokalen Windeinflüssen und Erdbebeneinwirkungen, wobei die Zunahme der Gebäudehöhe einen exponentiellen Einfluss auf die Strukturdimensionen des aussteifenden Tragwerks hat. Welche Aussteifungskonzepte hierzu angebracht sind und zu welchen Höhen schlanke Holzbauten möglich sind, soll im Nachfolgenden gezeigt werden.

3. Untersuchung gängiger Aussteifungsysteme

3.1. Vorwort

Im Holzbau bilden Stützen, Träger und Decken in ihrer linearen Skelettbauweise das Gros der Holztragwerke ab. Mit orthogonalen Anschlüssen ist die Bauweise seit Jahrhunderten dem Stützen-Träger-Skeletttragwerk treu geblieben. Die einzelnen Bauteile werden untereinander gelenkig zusammengeschlossen und leiten vertikale Lasten in den Baugrund ab. Für die horizontale Aussteifung bedarf es weiterhin zusätzliche Elemente. Denn gefügt werden die vorfabrizierten Stützen und Träger bis dato gelenkig vor Ort über Druck-, Zug- und Schubanschlüsse.

Durch die Einführung von biegesteifen Verbindungen können die Holzteile, die ohnehin als vertikal tragende Stützen-Träger-Systeme konstruiert werden, wesentlich zur horizontalen Aussteifung beitragen. Dies würde es den Stützen-Träger-Konstruktionen ermöglichen, sowohl zur vertikalen als auch zur horizontalen Lastabtragung beizutragen. Um hier das Tragwerkspotential werten zu können wurde eine Parameterstudie lanciert. Die Auswertung erfolgte auf Grundlage der Gebrauchstauglichkeitskriterien. Das Vorgehen ist hier kurz zusammengefasst, die ausführliche Berechnungsanalyse und das Auswertungsverfahren ist in [31] erläutert. Die Abgrenzung der Studie ist auf die gewählten Parameter begrenzt. Dementsprechend sind die unter Kapitel 5 angegebenen Höhengrenzen Ergebnisse der unterstehenden Parameter.

3.2. Typologien

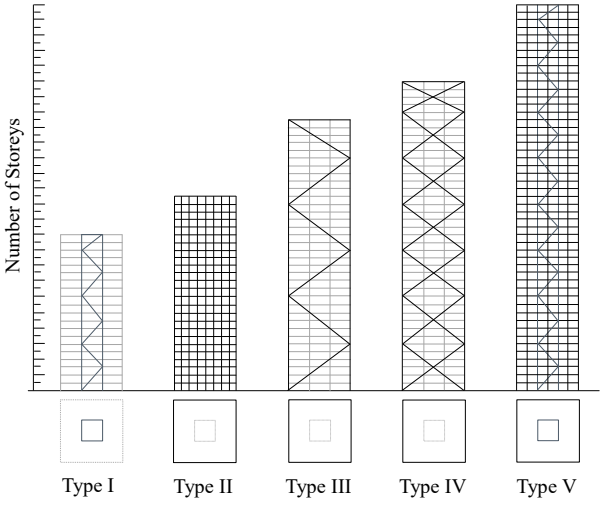


Abbildung 4: Übersicht der untersuchten Aussteifungssysteme in Anlehnung an die Arbeit von Fazlur R Kahn [43].

Untersucht wurden ein innerer Holzkern in Fachwerkbauweise (Typ I), ein äußeres Rahmentragwerk in der Fassade (Typ II), Diagonalausfachungen in der Fassade (Typ III und IV), sowie die Kombination aus Typ I und Typ II, ein Tube-in-Tube-System mit einem äußeren Rahmtragwerk und einer inneren ausgesteiften Fachwerkröhre (Typ V). Eine Beschreibung des Tube-in-Tube-Konzepts findet sich in [32] und [33], wo das System eingehend erläutert wird.

Während die Fachwerkstrukturen bei den unterschiedlichen Systemen unter Annahme gelenkiger Anschlüsse untersucht wurden, sind die Rahmentragwerke für unterschiedliche Rotationssteifigkeiten analysiert worden.

3.3. Leistungskriterien

Mit zunehmender Gebäudehöhe wird das Tragwerk mit dessen Abmessungen weniger von den Festigkeitskriterien bestimmt als viel mehr von den Gebrauchskriterien. Um die Leistung der Gebäudestrukturen zu werten, wird die Gebrauchstauglichkeit am Schwingungsverhalten der Windböen, d.h. an den maximal auftretenden Gebäudebeschleunigungen und -verformungen beurteilt. Für die Gebäudekopfbeschleunigungen der Schwingungsanalyse werden die Grenzwerte nach ISO 10137 [34] angesetzt, welche in Funktion der ersten Eigenfrequenz des Gebäudes ermittelt werden. Die Bewertungskurven basieren auf Empfindungsschwellen der menschlichen Wahrnehmungen, wobei die Bewertungskurve für "Wohnen" 2/3 der Gebäudebeschleunigungen für Büro entspricht und dem 90 %-Niveau der Wahrnehmungswahrscheinlichkeit unterworfen ist [34]. Die Grenzwerte sind aus Untersuchung von real genutzten Gebäuden abgeleitet.

Zur Bewertung der Spitzenbeschleunigungen sind im Rahmen dieser Arbeit die höheren Anforderungen für Wohngebäude angesetzt. Die Spitzenbeschleunigungen sind dabei nach EN 1994-1-4 Anhang B [35] als Erwartungswerte der Frequenz der Böenreaktion für Gebäudehöhen bis zu 200 m Höhe ermittelt. In dieser Arbeit wird eine Windgeschwindigkeit von 25 m/s zugrunde gelegt. Die Beschleunigungen werden mit nachfolgenden Berechnungen auf der Grundlage einer einjährigen Wiederkehrperiode mit einem Wahrscheinlichkeitsfaktor von $c_{prob} = 0.73$ berechnet. Die Bemessung erfolgt nach dem umfassenden Berechnungsverfahren nach Anhang B für die Geländekategorie IV nach EN 1991-1-1-4 [35]. Die Untersuchungen sind unter charakteristischen Baustoffsteifigkeiten und parametrischen Gebrauchslasten, exklusiv Sicherheitsbeiwerten auf Einwirkseite geführt.

Im Gegensatz zu den Beschleunigungen werden die Gebäudeverformungen für eine entsprechende Wiederkehrperiode von 100 Jahren mit den statischen Ersatzlasten berechnet, um Schäden an nichttragenden Elementen zu vermeiden. In der Literatur gibt es keinen Konsens für Grenzwerte zur Vermeidung von Schäden an nichttragenden Elementen [36,37]. Die aktuellen Empfehlungen liegen jedoch in einem Bereich zwischen 1/300 bis 1/1000 der Gebäudehöhe für die Spitzenverformungen und für die Verformungen zwischen den Geschossen [36,37]. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Verformungskriterien auf eine maximale horizontale Auslenkung von

$$u_{peak} \leq \frac{H}{500} \quad (1)$$

für die Kopfauslenkung am Gebäude und eine maximale Geschossauslenkung von

$$\delta u_{peak} \leq \frac{h_s}{500} \tag{2}$$

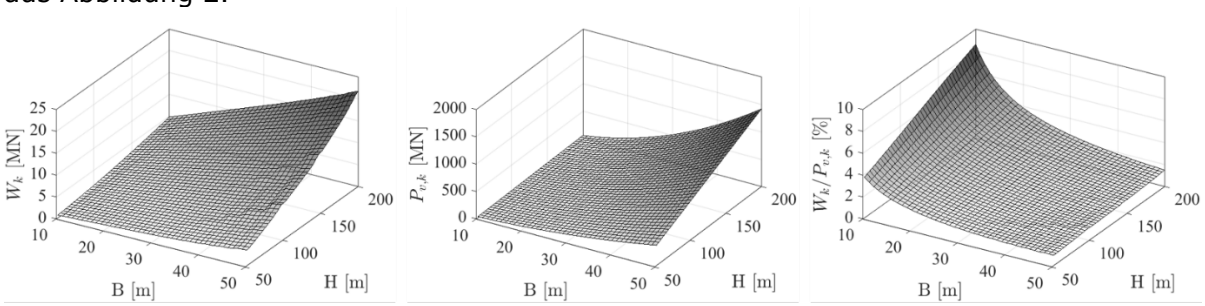
festgelegt. Hierbei definiert H die Gebäudehöhe und h_s die Geschosshöhe. Die für die Windeinwirkungen verwendeten Parameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Parameter für die Windlastermittlung nach EN 1991-1-4 (2010).

Beschreibung		a_{peak}	u_{peak} & δu_{peak}
Actions computed according to		EN 1991-1-4 (2010) Annex B	
Basic wind velocity	v_{b0}	25 m/s	
Return period	R	1 year	100 years
Probability factor	c_{prob}	0.73	1.039
Altitude factor	c_{alt}	1.0	
Directional factor	c_{dir}	1.0	
Seasonal factor	c_{season}	1.0	
Turbulence factor	k_1	1.0	
Air density	ρ	1.25	
Reference height	z_t	200 m	
Reference length scale	L_t	300 m	
Minimum height	z_{min}	10 m	
Maximum height	z_{max}	200 m	
Roughness length	z_0	1.0 m	
Orography factor	c_o	1.0	
Design criteria		ISO 10137	$H/500$ $h_s/500$

3.4. Einfluss des Windes

Der Zusammenhang zwischen Vertikaleinwirkungen und horizontaler Windbeanspruchung infolge zunehmender Gebäudevolumina kann Abbildung 5 entnommen werden. Aufgezeigt ist die Bauwerkslast oberhalb Terrain gegenüber den aufsummierten Windkräften, welche auf ein quader-förmiges Gebäude mit quadratischem Grundriss der Breite B einwirken. Die Windkräfte sind in Abhängigkeit der Bauwerkseigenfrequenzen berechnet. Sie basieren auf einer Bauwerksaussteifung aus kreuzweise angeordneten Diagonalen in GL28h mit konstanten Bauteilquerschnitten von b/h = 40/120 cm, entsprechend Konstruktionstyp 6 aus Abbildung 2.



a) b) c)

Abbildung 5: Zusammenhang zwischen horizontaler Windbeanspruchung (a) und Vertikaleinwirkungen (b) infolge zunehmender Gebäudevolumina. c) zeigt das Verhältnis von Windbeanspruchung zu Vertikaleinwirkung auf.

Die Gegenüberstellung bezieht sich auf eine gleichverteilte Geschossdeckenlast p_k = 10.0 kN/m^2 (charakteristisch) und eine Windlastermittlung nach EN 1991-1-4:2010-12 Anhang B [35] mit einer Basiswindgeschwindigkeit von v_{b0} = 25 m/s und 100-jähriger Wiederkehrperiode. Das Verhältnis von Windlast zu Vertikallast verdeutlicht die Relevanz der Windlastzunahme gegenüber der Vertikallastzunahme infolge anwachsender Gebäudehöhe. Während für ein kubisches Gebäude mit 50 m Breite und 50 m Höhe die Windersatzlasten rund 0.9 % der Vertikallasten entsprechen, steigt dieser Anteil für ein quader-förmiges Gebäude von 20 m Breite und 100 m Höhe auf 2.5 % an, Vgl. Abbildung 5 c).

4. Methode

4.1. Finite Elemente Modell

Die Tragwerksberechnung wurde unter Verwendung eines in MATLAB programmierten Finite-Elemente-Codes durchgeführt. Wesentliche Gründe dafür bilden die Berechnungsgeschwindigkeit der Software in Kombination mit der Möglichkeit die Simulationen am High-Performance-Computer der ETH Zürich laufen zu lassen. Der Vorteil der eigen programmierten MATLAB Software erlaubte am Supercomputer die Rechenanalyse von 12 Millionen Simulationen. Die Analyse der windinduzierten Schwingungen richtet sich dabei auf die zweidimensionale Tragwerksanalyse. Torsionsuntersuchungen am dreidimensionalen Modell werden nicht erfasst. Träger und Streben werden nach der Euler-Bernoulli-Balkentheorie gerechnet, die Stützen werden nach der Timoshenko-Balkentheorie mit einem Schubkorrekturfaktor von 5/6 simuliert. Für die Rahmentragwerke wurden die Balken-Stützen-Verbindungen als linear-elastische Drehfedern idealisiert. Weitere Einzelheiten und Erläuterungen zur Programmierung sind in [31,33,38,39] zu finden.

4.2. Erfassung der Verbindungssteifigkeit

Um das Potential der verbreiteten Rahmenbauweise aus dem Stahl- und Stahlbetonbau im Holzbau zu erkunden, wird auf Basis einer Parameterstudie die Mindestrotationssteifigkeit untersucht, welche für die Entwicklung von Stockwerksrahmen im Holzbau erforderlich ist. Basierend auf den Leistungskriterien der Schwingungsanalyse wird das Anforderungsprofil der Anschlüsse für die anschließende Entwicklung biegesteifer Verbindungen erstellt. Für eine starre Einspannung kann die erforderliche Rotationssteifigkeit mittels statischer Kondensation analytisch abgeleitet werden und wie nachfolgend, als äquivalente Rotationssteifigkeit beschrieben werden:

$$K_{\theta,eq} = \frac{145EI_c}{6h} + \frac{239EI_b}{6l} + \frac{110EI_b^2 \cdot h}{6EI_c \cdot l^2} + 4\frac{EI_c^2 \cdot l}{EI_b \cdot h^2} \tag{3}$$

Hierbei definiert h die Geschosshöhe, bzw. die Stützenlänge, l ist die Feldlänge, EI_c die Stützensteifigkeit und EI_b die Trägersteifigkeit. Weitere Angaben zur Herleitung und Erläuterungen können [31,33] entnommen werden.

Die benötigten Mindestrotationssteifigkeiten werden dabei als nachgiebige Verbindungen in Funktion der in Formel (3) definierten starren Einspannung beschrieben. Die benötigten Rotationssteifigkeiten K_θ sind hier als Bruchteil α_θ der starren, äquivalenten Verbindungssteifigkeit $K_{\theta,eq}$ definiert:

$$K_\theta = \alpha_\theta \cdot K_{\theta,eq}, \tag{4}$$

wobei α_θ das Steifigkeitsverhältnis in Prozent ausdrückt und in der Parameterstudie zwischen 0.1 % und 100 % variiert.

4.3. Parametrisierung

Die Schwingungsanalyse der unterschiedlichen Tragwerkstypologien ist am parametrisierten Modell vollzogen. Die Parameter sind dabei derart gewählt, dass sie die realistischsten Variationen der Gebäudegeometrie abdecken. Aufgrund der großen Anzahl möglicher Konfigurationen wurden über 12 Millionen Simulationen analysiert. Bei den variierenden Parametern handelt es sich um die Anzahl der Stockwerke, die Anzahl der Felder, die Feldlängen, die Bauteilquerschnitte, die Rotationssteifigkeit der Träger-Stützen-Verbindungen, die Festigkeitsklassen für Brettschichtholz, die charakteristischen Geschosslasten, die Kernabmessungen, d.h. das Kern-Verhältnis zwischen Fassade und innerem Kern, das logarithmische Dekrement der strukturellen Dämpfung und die Wiederkehrperiode für die Basiswindgeschwindigkeit. Es wird davon ausgegangen, dass die Masse des Gebäudes gleichmäßig über die Höhe des Gebäudes verteilt ist. In Abbildung 6 sind die Parameter grafisch dargestellt.

Die konstanten Parameter sind neben der Basiswindgeschschindigkeit von v_{b0} = 25 m/s die Geschosshöhe, welche auf 3,5 m festgelegt ist. Der Aussteifungswinkel ist variabel und wird durch die Gebäudebreite und die innere Kernbreite bestimmt. Er beträgt jedoch

ca. 45° und wird durch einen Algorithmus optimiert, dass das nächstgelegene Geschoss gefunden wird, um zentrisch an die Träger-Stützen-Verbindung anzuschließen. ψ_t ist der resultierende Aussteifungswinkel der obersten Diagonale. In Tabelle 2 sind die Parameter für die Tragwerksuntersuchungen zusammengefasst. Bei den Untersuchungen zum Typ II und zum Typ V handelt es sich um konstante Querschnittsbreiten von $b_{c/b/br}$ = 40 cm. Hier sind nur die Trägerhöhen parametrisiert und variieren zwischen $h_{c/b/br}$ = 40 cm und $h_{c/b/br}$ = 120 m. Bei den Fachwerksystemen in Typ I, III und IV sind die Stützenquerschnitte quadratisch.

Tabelle 2:Zusammenfassung der Parameter.

Tragwerkstypologie		Rahmen (Type II)			Verbände (Type I, III, IV)			Tube-in-Tube (Type V)			
		Min	Max	Step	Min	Max	Step	Min	Max	Step	Unit
Number of bays	n_b	6.00	12.00	2.0	6.00	12.00	2.0	6.00	12.00	2.0	-
Bay width	l_b	2.40	4.20	0.6	2.40	4.20	0.6	2.40	4.20	0.6	m
Number of storeys	n_s	15	65	5.0	15	65	5.0	15	65	5.0	m
Column width	b_c	0.40	0.40	-	0.40	1.20	0.20	0.40	0.40	-	m
Column height	h_c	0.40	1.20	0.20	0.40	1.20	0.20	0.40	1.20	0.20	m
Beam width	b_b	0.40	0.40	-	-	-	-	0.40	0.40	-	m
Beam height	h_b	0.40	1.20	0.20	-	-	-	0.40	1.20	0.20	m
Bracing width	b_{br}	-	-	-	0.40	0.40	-	0.40	0.40	-	m
Bracing height	h_{br}	-	-	-	0.40	1.20	0.20	0.40	1.20	0.20	m
Surface load/storey	p_s	5	10	2.5	5	10	2.5	5	10	2.5	kN/m²
Rotational stiffness ratio	α_θ	0.1	100	(a)	1	100	(a)	1	100	(a)	%
Material		GL28h(b)	GL75(d)	GL48h(c)	GL28h	GL75	GL48h	GL28h	GL75	GL48h	-
Internal core ratio	β	-	-	-	1	3	0.5	1	3	0.5	-
Structural damping	δ_s	0.1	0.5	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.5	0.1	-

(a) Parametrisierung der Rotationssteifigkeit der biegesteifen Verbindung mit folgenden Schritten: α_θ = 0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10, 25, 50 100 %.
(b) GL28h gemäss EN 14080 [40] mit E=12'600 N/mm² und G=650 N/mm²
(c) GL48h gemäss Neue Holzbau AG [41] mit E=15'000 N/mm² und G=1000 N/mm²
(d) GL75 für Pollmeier Baubuche gemäss [42] mit E=16'800 N/mm² und G=850 N/mm²

5. Ergebnisse

5.1. Vorwort

Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse der Parameterstudie basieren auf der Auswertung einer äquivalenten Gebäudesteifigkeit als vereinfachter eingespannter Kragarm. Entsprechende Herleitungen der Steifigkeiten und das diesbezügliche Rechenverfahren ist in [31] dokumentiert. Ziel der Untersuchung ist dabei die Leistung der unterschiedlichen Systeme zu analysieren und die erforderliche Mindestrotationssteifigkeit der biegesteifen Verbindungen aufzudecken.

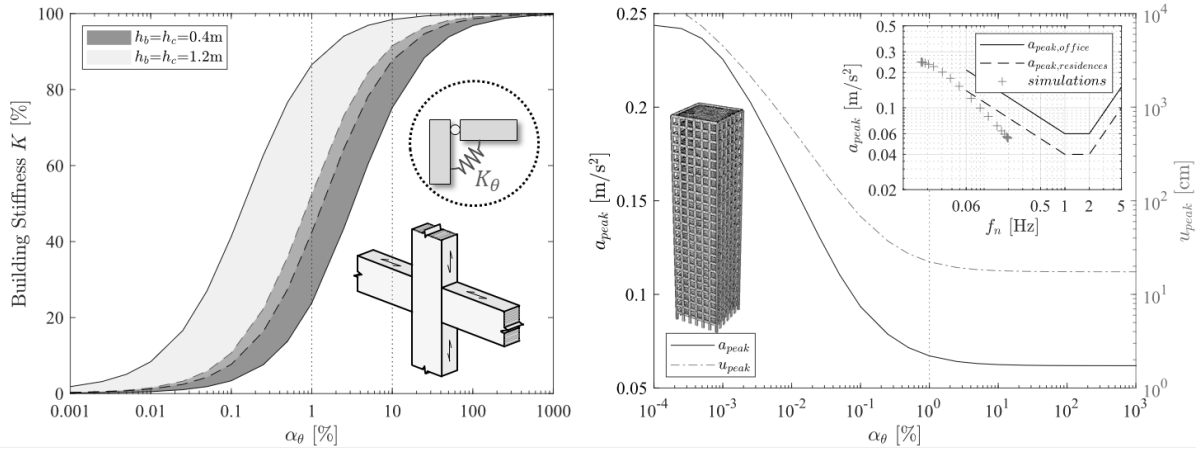
5.2. Erforderliche Rotationssteifigkeit der Anschlüsse

Abbildung 6 a) zeigt das Verhalten der Gebäudesteifigkeit K in Bezug auf das Steifigkeitsverhältnis α_θ für eine breite Palette von Parametern. Die Gebäudesteifigkeit K auf der vertikalen Achse wird hier als Bruchteil der äquivalenten Kragarmsteifigkeit $K_{B,eq}$ gegenüber einem vollständig starren, momentenfesten Rahmen dargestellt, um die Ergebnisse zu normalisieren. Daher wird die Gebäudesteifigkeit nach Formel (5) in Prozent ausgedrückt:

$$K = \frac{K_{B,eq}(\alpha_{\theta,i})}{K_{B,eq}(\alpha_\theta = 100\%)} \quad (5)$$

Die schraffierten Bereiche in der Abbildung enthalten alle möglichen Kombinationen für die unterschiedlichen Parameterkonfigurationen, wobei Konfigurationen mit den kleinsten Stabquerschnitten h_b=h_c= 40 cm und den größten Querschnitten h_b=h_c= 120 cm unterteilt sind. Abbildung 6 a) zeigt, dass die Verbindungssteifigkeit des Stützen-Träger-Anschlusses K_θ einen großen Einfluss auf die Gebäudesteifigkeit hat, wenn das Steifigkeitsverhältnis

α_θ im Bereich von 0,01 % bis etwa 10 % liegt. Ein Steifigkeitsverhältnis α_θ von 5 % in den Stützen-Träger-Verbindungen führt im Vergleich zu einem entsprechenden Gebäude mit starren Verbindungen zu einer globalen Gebäudesteifigkeit K zwischen 60 % und 98 %. Schlanke Querschnitte benötigen verhältnismäßig höhere Verbindungssteifigkeiten als oder größere Querschnitte um die maximale Gebäudesteifigkeit auszuloten.



a) b)

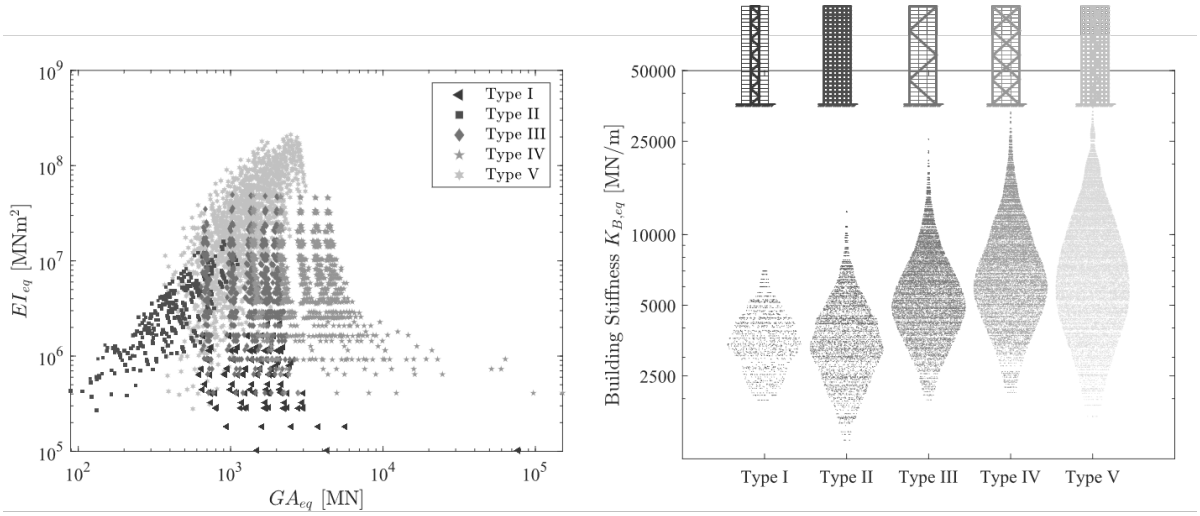
Abbildung 6: Untersuchung der erforderlichen Rotationssteifigkeiten an Holzhochhäusern aus Stockwerksrahmen (Typ II). a) Einfluss der Verbindungssteifigkeit auf die globale Gebäudesteifigkeit. b) Verhalten der maximalen Kopfbeschleunigungen und -verschiebungen in Abhängigkeit von der Biegesteifigkeit der Verbindung für Tragwerkstyp II in GL28h mit 25 Geschossen, 6×3,6 m Feldern, Geschosshöhe 3,5 m, logarithmische Dämpfungsdekrementen δ_s=0,1, Trägerquerschnitte von b_b/h_b=40/100 cm und Stützenquerschnitte b_c/h_c=40/60 cm.

So erreicht z.B. ein Gebäude mit einem Rahmentragwerk (Typ II) in GL28h mit n_b=6 Feldern, Feldlängen l_b=3,6 m, n_s=25 Geschossen, Geschosshöhe h_s=3,5m, Träger- und Stützenquerschnitten von b_b/h_b=40/100 cm und b_c/h_c=40/60 cm eine globale Gebäudesteifigkeit von K=79 % bei einem Steifigkeitsverhältnis der Verbindung von α_θ=1,0 %. Das gleiche Gebäude mit einem verhältnismäßig gleichen Steifigkeitsverhältnis der Verbindung von α_θ=1,0 %, aber mit umgekehrten Stababmessungen, d.h. Trägerquerschnitte b_b/h_b=40/60 cm und Stützen b_c/h_c=40/100 cm, erreicht dagegen nur eine globale Gebäudesteifigkeit von b_c=32 %. Abbildung 6 b) zeigt, dass nur ein geringes Steifigkeitsverhältnis α_θ erforderlich ist, um steife Verbindungen zu schaffen, da die Spitzenbeschleunigungen und Durchbiegungen ab einer bestimmten erreichten Rotationssteifigkeit nur noch geringfügig beeinflusst werden. Bei dem abgebildeten 25-geschossigen Rahmen ist der Gewinn bei Verbindungssteifigkeitsverhältnissen $\alpha_\theta \geq 1$ % marginal.

Abgesehen von schlanken Trägern ist eine Erhöhung des Steifigkeitsverhältnisses α_θ über 10 % im Allgemeinen nicht sinnvoll. Folglich sollte bei der Entwicklung von biegesteifen Stützen-Träger-Verbindungen ein Steifigkeitsverhältnis α_θ zwischen 1 % und 10 % angestrebt werden, um effiziente Lösungen zu gewährleisten.

5.3. Äquivalente Kragarm Steifigkeit

Werden die unterschiedlichen Tragwerkstypen untereinander verglichen, so ermöglicht der Ansatz einer äquivalenten Kragarmsteifigkeit nach [31] den Vergleich der verschiedenen Tragwerkssysteme hinsichtlich ihrer globalen Gebäudesteifigkeit. Auf Grundlage der Ergebnisse können die unterschiedlichen Systeme dementsprechend hinsichtlich ihrer Biege- und Schubsteifigkeit analysiert werden. Abbildung 7 a) zeigt die Streuung der äquivalenten Biegesteifigkeit zur Schubsteifigkeit, wobei beide Achsen mit logarithmischer Skalierung auf Basis 10 dargestellt sind. Die Abbildung fasst nur Ergebnisse zusammen, welche die Gebrauchstauglichkeitskriterien nach Abschnitt 3.3 erfüllen und eine Schlankheit von $H/B > 3.0$ aufweisen. Darüber hinaus basieren die dargestellten Ergebnisse auf Berechnungen der Holzgüte GL28h. Für die Rahmen (Typ II) und Tube-in-Tube-Systeme (Typ V) sind in Abbildung 7 nur Ergebnisse für biegesteife Verbindungen mit einer Rotationsverbindungssteifigkeit von $\alpha_\theta \leq 1.0$ % und die inneren Kernabmessungen mit $\beta_{br} = 3.0$, d.h. $L_{br} = 1/3 \cdot B$ für Typ I und Typ V dargestellt.



a) b)

Abbildung 7: Steifigkeitsuntersuchung der Tragsystemen. a) Gegenüberstellung der erzielten äquivalenten Biegesteifigkeiten EI_{eq} zu den Schubsteifigkeiten GA_{eq}. b) Gebäude äquivalente Kragarmsteifigkeiten $K_{B,eq}$ für die unterschiedlichen Strukturen.

Das Verhältnis zwischen EI_{eq} und GA_{eq} zeigt die Stärken und Schwächen der verschiedenen Systeme auf. Unter der Kenntnis, dass die Rahmen schubweicher sind als die Fachwerkaussteifungen, beweist Abbildung 7, dass die Kombination beider Tragwerke als Tube-in-Tube-Systeme Gebäudesteifigkeiten in der Größenordnung der Diagonalausfachungen in der Fassade erreichen. In Abbildung 7 b) ist dies anhand der globalen Gebäudesteifigkeiten im Schwarmdiagramm bildlich verdeutlicht. Die Abbildung kann als qualitative Bewertung verwendet werden, um die verschiedenen Systeme hinsichtlich ihrer globalen Steifigkeit nach der Häufigkeit Ihrer Ergebnisse zu bewerten. Für alle Konstruktionstypen werden die Ergebnisse in Abbildung 7 b) mit ihrer Verteilung der erreichten Steifigkeiten visualisiert.

5.4. Höhenuntersuchung

Die breit angelegte Parameterstudie ermöglicht eine Sensitivitätsanalyse zur Bedeutung der verschiedenen Parameter. Die Auswirkungen und das Gewicht der variierenden Parameter sind in [31,32] ausführlich beschrieben.
Um die Höhenbegrenzung der verschiedenen Aussteifungssysteme zu beurteilen, werden die Tragwerke den in Abschnitt 3.3 vorgestellten Leistungskriterien unterworfen. In Abhängigkeit der variierenden Parameter wird die Höhenbegrenzung für die höchsten Tragwerke festgelegt, welche sich noch innerhalb der Kriteriengrenzen von maximalen Beschleunigungen, Kopfauslenkungen und Stockwerksverschiebungen befinden. Die Bestimmung der Höhengrenzen erfolgt somit anhand der höchstmöglichen Strukturen innerhalb des Anforderungprofils. Abbildung 8 fasst die erreichbaren Höhen für die Untersuchungen innerhalb der Parameterstudie zusammen, wobei die Ergebnisse für die festen Parameter mit einer konstanter Geschosshöhe $h_s = 3.5$ m, einem logarithmischen Dämpfungsdekrement von $\delta_s = 0.1$ und konstanten charakteristischen Geschosslasten von $p_s = 7.5$ kN/m^2 gelten.

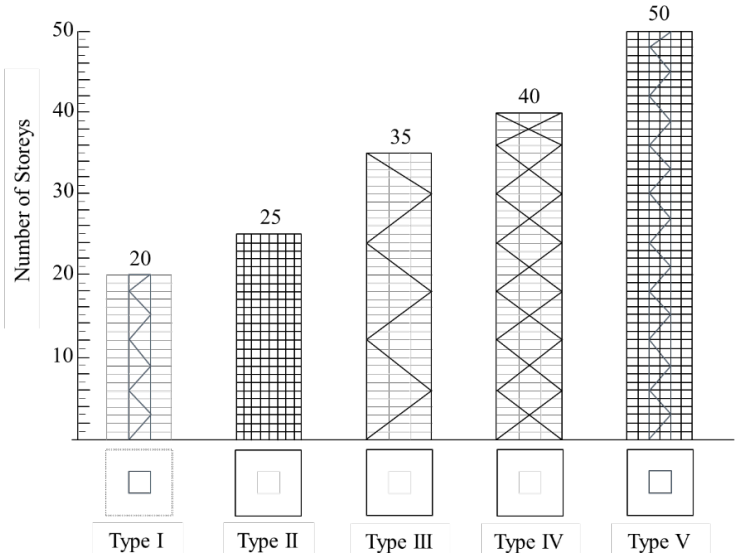


Abbildung 8: Höhenuntersuchung für windbeanspruchte Aussteifungssysteme in Holzbauweise.

Unter dem Gesichtspunkt der Gebrauchstauglichkeit zeigen die Ergebnisse, dass Typ III und IV mit den ausgefachten Fachwerksystemen in der Fassadenebene, sowie Typ V als Tube-in-Tube-Systeme mit äußerem Rahmentragwerk Lösungen für Gebäudehöhen oberhalb 100 m darstellen. Unter Berücksichtigung der Anforderungen von $u_{peak} \leq H/500$, $\delta u_{peak} \leq h_s/500$ und dem Beschleunigungskriterium nach ISO 10137 [34] sind unter Annahme konstanter Geschosshöhen von $h_s = 3.5$ m für Gebäudetyp IV Höhen von 140 m möglich und für Typ V Höhen zwischen 175m-190m erreichbar. Trotz tiefgründiger Untersuchungen sind diese Ergebnisse jedoch als Richtwerte zu verstehen und nur für europäische innerstädtische Gebiete mit Basiswindgeschwindigkeiten von $v_{b0} = 25$ m/s gültig. Im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit können sich diese Grenzen verschieben, wenn andere Bauteilquerschnitte oder weitere Abweichungen getroffenen Annahmen zugrunde liegen.

Zu vermerken ist, dass das Ausloten der Höhen an den untersuchten Strukturen im Wesentlichen vom Verformungskriterium abhängig ist. Denn aufgrund der verhältnismäßig weichen Holztragwerke zeigen die Strukturen gegenüber anderen Baustoffen geringere Steifigkeiten auf. Dies hat zur Folge, dass die Bauwerke höhere Eigenperioden mit folglich geringeren Eigenfrequenzen verzeichnen. Es sind weiche Tragwerke, welche infolge ihrer geringen Steifigkeit höhere Verformungen als gleichartige Stahl- oder Stahlbetonbauten aufzeigen. Für hohe Bauten werden die Verformungskriterien hier vor den Beschleunigungskriterien maßgebend. Die Grenzlinie der Beschleunigungs-Relevanz wurde im Rahmen dieser Arbeit in Abhängigkeit der Tragwerkstypen zwischen 10 und 25 Geschossen für konstante charakteristische Geschosslasten zwischen $p_s = 5$ kN/m^2 und $p_s = 10$ kN/m^2 verzeichnet. Oberhalb dieser Geschosszahlen stellen jeweils die definierten Verformungskriterien von $u_{peak} \leq H/500$ und $\delta u_{peak} \leq h_s/500$ die höchsten Ansprüche.

6. Schlussfolgerung und Ausblick

Was immer die Menschheit dazu treibt den Himmel zu erklimmen, der Drang nach hohem Bauen ist nicht neu. Viele Hochhäuser streben in die Höhe, auch wenn nur für ganz kurze Zeit, entweder das höchste Gebäude der Welt, einer Stadt oder einfach nur das höchste Gebäude aus Holz zu sein. Die Bauten strahlen eine Symbolkraft aus und demonstrieren technologische Entwicklung. Sie zeigen als unverwechselbares Corporate Design den Fortschritt und die wirtschaftliche Potenz der Investoren. Die Kurzlebigkeit solcher Rekorde gehört zur Geschichte der Hochhäuser. Bauten, welche als hoch galten, sind plötzlich nicht mehr hoch genug, um den geforderten Platzbedarf zu befriedigen und die Rentabilität zu decken. Die Auswirkungen dieser Entwicklung sind Diskussionsthemen der Immobilienwirtschaft und Architektursoziologie. Das Positive am Hochhausbau ist das Streben nach aktuellem Technologiefortschritt, um die absolut möglichen Grenzen auszuloten. Denn das

Bauen hoher Häuser hat sich im Bauwesen zur Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhundert gemausert, welche den technologischen Fortschritt befeuert, so wie die Luft- und Raumfahrt in der Mobilität, die Kommunikationstechnologie in der Informatik oder die Gentechnik in der Biotechnologie.

Im Holzbau akzentuiert diese Hochhausentwicklung die pulsierende Dynamik der gesamt aufstrebenden Holzbauentwicklung. Es gibt starkes Potenzial die Holzbauweise in die Höhe zu skalieren und Gebäudehöhen von 150 m und mehr zu ermöglichen. Dieses Potenzial hängt von einer Vielzahl von Parametern ab und ist in diesem Beitrag für ein bestimmtes Spektrum an Variablen an den fünf unterschiedlichen Systemen zusammengefasst. Die wichtigsten Erkenntnisse aus den Untersuchungen sollten sein, dass zum einen ab einer bestimmten Höhe die Verformungen maßgebend werden und nicht mehr die Beschleunigungen infolge windinduzierter Schwingungen die entscheidenden Kriterien der Gebrauchstauglichkeit definieren. Zum anderen ist die wesentliche und motivierende Erkenntnis, dass Stockwerksrahmen infolge ihrer einfachen Bauweise im Holzbau ein enormes Potenzial offenbaren, wofür biegesteife Verbindungen mit Rotationssteifigkeiten um rund 1 % vielversprechend sind.

Die aufgeführte Analyse dient in Form einer Grundlagenforschung, um das Potenzial der verschiedenen Tragsystemen aufzeigen. Zeitgleich dient sie als Basis für den Kriterienkatalog zur Entwicklung von biegesteifen Verbindungen, welche im Rahmen aktueller Forschung zurzeit an der ETH Zürich entwickelt werden. Denn das im Holzbau noch ausbleibende Tragwerkskonzept von Stockwerksrahmen bietet den Vorteil innerhalb orthogonaler Skeletttragwerke neben vertikalen Lasten zusätzlich horizontale Lasten ableiten zu können. Zudem werden durch den hohen Grad an statischer Unbestimmtheit sehr robuste Tragwerke geschaffen. Dies ermöglicht die Reduzierung oder gar den ganzheitlichen Verzicht weiterer aussteifender Bauteile. Bis dato sind derartige Stockwerksrahmen vorwiegend nur in Stahl- und Stahlbetonbau ausführbar. Der Entwicklung biegesteifer Verbindungen liegt hier die Intention zugrunde, altbewährte Tragwerkskonzepte anderer Baustoffe dem Holzbau zu offenbaren. Ihre Aufgabe ist es, einen statisch effizienten biegesteifen Anschluss zu schaffen, um ein neues Feld im Holzbau zu eröffnen.

7. Danksagung

Dieser Beitrag wurde im Rahmen des Projekts «Aussteifungssysteme für Holzhochhäuser» erfasst. Die Autoren bedanken sich für die Finanzierung durch Innosuisse - Schweizerische Agentur für Innovation. Besonderer Dank geht an die Projektpartner Schnetzer Puskas Ingenieure AG und Boltshauser Architekten AG.

8. Literaturverzeichnis

[1] Kuzmanovska I, Gasparri E, Tapias Monne D, Aitchison M. Tall timber buildings: Emerging trends and typologies. World Conference on Timber Engineering (WCTE 2018), Seoul, Korea, Republic Of.: 2018.

[2] Svatoš-Ražnjević H, Orozco L, Menges A. Advanced Timber Construction Industry: A Review of 350 Multi-Storey Timber Projects from 2000–2021. Buildings 2022; 12:404. https://doi.org/10.3390/buildings12040404.

[3] Torem E, Daniel Safarik. Timber Rising – Global Perspectives on Mass Timber Advances for the Tall Building Industry. Chicago: CTBUH; 2020.

[4] Safarik D, Elbrecht J, Miranda W. State of Tall Timber 2022. Council on Tall Buildings and Urban Habitat, CTBUH Research Journal 2022;1:22–9.

[5] Abrahamsen RB, Malo KA. Structural design and assembly of "TREET" - A 14 storey timber residential building in Norway. World Conference on Timber Engineering (WCTE 2014), Quebec City: WCTE; 2014.

[6] Woschitz R, Zotter J. Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept. Österreichische Ingenieur- Und Architekten-Zeitschrift 2017;162.

[7] Vola M, Verhaegn R, de Jong J. Haut - A 21-storey Tall Timber Residential Building. International Journal of High-Rise Buildings 2020;9:213–20. https://doi.org/https://doi.org/10.21022/IJHRB.2020.9.3.213.

[8] Jung P. Suurstoffi BF1 Rotkreuz: 60Meter – 15 Geschosse – 15 Wochen. 24. Internationales Holzbau-Forum IHF 2018, Internationales Holzbau-Forum IHF; 2018, p. 1–12.

[9] Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Timber Rising: Global Perspectives on Mass Timber Advances for the Tall Building Industry. Chicago: CTBUH; 2020.

[10] Abrahamsen R. Mjøstårnet-18 storey timber building completed. 24 Internationales Holzbau-Forum IHF 2018.

[11] Foster N, Binder G. Tall buildings of Europe, the Middle East and Africa. Mulgrave, Vic: Images Publishing; 2006.

[12] Council on Tall Buildings and Urban Habitat. The Future of Tall. Chicago: Council on Tall Buildings and Urban Habitat; 2015.

[13] Clark N, Price B. Tall buildings : a strategic design guide. 2nd edition. London: RIBA Publishing; 2016.

[14] Foster N, Binder G. Tall buildings of Europe, the Middle East and Africa. Mulgrave, Vic: Images Publishing; 2006.

[15] Council on Tall Buildings and Urban Habitat. The Future of Tall. Chicago: Council on Tall Buildings and Urban Habitat; 2015.

[16] Clark N, Price B. Tall buildings : a strategic design guide. 2nd edition. London: RIBA Publishing; 2016.

[17] Kloft E, Eisele J. HochhausAtlas Typologie und Beispiele, Konstruktion und Gestalt, Technologie und Betrieb. München: Callwey; 2002.

[18] Binder G. Sky high living : contemporary high-rise apartment and mixed-use buildings. Mulgrave, Vic: Images Publ.; 2002.

[19] Gräwe C. High society : aktuelle Hochhausarchitektur und der Internationale Hochhaus Preis 2006 = contemporary highrise architecture and the international highrise award 2006. Berlin: Jovis; 2006.

[20] Phocas MC. Hochhäuser. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag; 2005. https://doi.org/10.1007/978-3-322-80079-4.

[21] Sarkisian M. Designing tall buildings : Structure as architecture. Second edition. New York: Routledge; 2016.

[22] Binder G. 101 of the world's tallest buildings. [Reprint]. Mulgrave, Vic: Images Pub.; 2007.

[23] Tamboli AR. Tall and supertall buildings : planning and design. New York: Mcgraw-Hill Education; 2014.

[24] NRW-Forum Kultur und Wirtschaft Düsseldorf. Der Traum vom Turm: Hochhäuser: Mythos, Ingenieurkunst, Baukultur. Ostfildern-Ruit: Hatje Cantz; 2004.

[25] Trbuhović L. Hundert Jahre Hochhäuser. Zürich: Verlag der Fachvereine an den Schweiz. Hochschulen und Techniken; 1984.

[26] Goldberger P, Mühlendahl-Krehl N <<von>>. Wolkenkratzer : das Hochhaus in Geschichte und Gegenwart. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt [etc.]; 1984.

[27] Sullivan LH. The Tall Office Building Artistically Considered. Lippincott's monthly magazine, Philadelphia: J.B. Lippincott Co; 1896, p. 403–9.

[28] International Energy Agency (IEA). Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry. Paris: 2018.

[29] Bellmann E, Zimmermann P. Klimaschutz in der Beton- und Zementindustrie - Hintergrund und Handlungsoptionen. Berlin: 2019.

[30] Core Five LLP. Walking Tall: Viability Analysis. 2020.

[31] Binck C, Frangi A. Investigations on suitable lateral stiffening systems for tall timber buildings. World Conference on Timber Engineering (WCTE 2023), Oslo, Norway: WCTE 2023; 2023, p. 2958–67. https://doi.org/10.52202/069179-0386.

[32] Binck C, Cao AS, Frangi A. Lateral stiffening systems for tall timber buildings – tube-in-tube systems. Wood Mater Sci Eng 2022:1–8. https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2086066.

[33] Binck C, Frangi A. Aussteifungssysteme für Holzhochhäuser. In: Universität Stuttgart I für K und E, editor. 9. Doktorandenkolloquium „Holzbau Forschung + Praxis", Stüttgart: Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf; 2022.

[34] ISO. ISO 10137-2007. Bases for design of structures - Serviceability of buildings and walkways against vibrations. 2007.

[35] CEN. EN 1991-1-4 Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions -Wind actions. In: European Committee for Standardization, editor., 2010.

[36] Griffis LG. Serviceability Limit States Under Wind Load. Engineering Journal, American Institute of Steel Construction 1993;30:1–16.

[37] Smith R. Deflection Limits in Tall Buildings—Are They Useful? Structures Congress 2011, Reston, VA: American Society of Civil Engineers; 2011, p. 515–27. https://doi.org/10.1061/41171(401)45.

[38] Cao AS. Dynamic response of semi-rigid timber frames subjected to wind loads. Masterthesis. Norwegian University of Science and Technology, 2020.

[39] Cao AS, Stamatopoulos H. A theoretical study of the dynamic response of planar timber frames with semi-rigid moment-resisting connections subjected to wind loads. Eng Struct 2021;240:112367. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112367.

[40] CEN. EN 14080 Timber structures - Glued laminated timber and glued solid timber - Requirements. 2013.

[41] Neue Holzbau AG. Eigenschaften Brettschichtholz in Laubholz. Lungern: 2020.

[42] Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB). ETA-14/0345. Wien: 2021.

[43] Ali MM, Moon KS. Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects. Archit Sci Rev 2007;50:205–23. https://doi.org/10.3763/asre.2007.5027.

Limberlost Place:
A 10 Storey Slab Banded Structure

Robert Jackson
P.Eng., Struct.Eng., P.E., S.E., C.Eng., MIStructE
Partner, Fast + Epp
Vancouver, Canada



Limberlost Place: A 10 Storey Slab Banded Structure

1. Executive Summary

Limberlost Place (previously known as «The Arbour») is a groundbreaking mass timber project, situated on George Brown College's waterfront campus in Toronto, Canada. Rising 10 storeys and covering 16,000 square meters, the building will serve as a pivotal educational center, housing the Tall Wood Research Institute, a childcare facility, and various teaching and social spaces. At its heart lies an innovative beamless structural floor system, which integrates cross-laminated timber (CLT) concrete composite «slab bands» supported by glulam columns. This innovative structural design not only provides flexibility in architectural planning but also enables the efficient distribution of mechanical systems within the building. The project's realization was made possible through external funding, primarily from the National Resources Canada Green Construction Wood Program (GCWood), in conjunction with strategic partnerships aimed at fostering mass timber innovation tailored to project unique requirements. This collaboration has prompted an extensive structural testing program at the University of Northern British Columbia, focused on evaluating timber concrete composite «slab bands» and developing cost-effective composite connectors. The research phase involved comprehensive investigations of full-scale and half-scale cross-laminated timber (CLT) timber-concrete-composite (TCC) slab bands, with a keen focus on assessing their out-of-plane shear and ultimate flexural capacities utilizing a range of shear connectors. The testing program included evaluations of various shear flow connectors, including self-tapping screws, steel kerf plates, and proprietary glued-in Holz-Beton-Verbund (HBV).

2. Project Description

2.1. Introduction

Limberlost Place is the first of its kind in Canada, a 10 storey, assembly occupancy 2 hr rated, net zero carbon building (Figure 1). The project's environmental goals include achieving LEED Gold certification and meeting Toronto’s Tier 4 Green Standard. The building has a footprint of 62x37 m and complies with load requirements outlined in the 2017 edition of the Ontario Building Code and the 2015 edition of the National Building Code of Canada, including wind and seismic loads as well as floor and roof dead, live, and snow loads. The structural system predominantly utilizes timber, with exposed mass timber floors and glulam columns. Cross-laminated timber (CLT) panels act as the primary floor system from levels 2 to 9. The structure is designed to withstand a two-hour fire event, with a comprehensive char analysis performed according to CSA O86 Annex B standards, along with supplementary calculations based on the Ministry of Municipal Affairs and Housing Supplementary Standard, SB-2 Fire Performance Ratings, in subsection 2.11 of the OBC for glue-laminated timber beams and columns. The structural steel components also require a two-hour fire-resistance rating.



Figure 1: Rendering of Limberlost Place

2.2. Superstructure

The superstructure of Limberlost Place incorporates all main structural materiasl to create a dynamic and efficient building system. The ground floor suspended slab consists of a 300 mm thick reinforced concrete slab supported by concrete columns and walls beneath it (Figure 2). The transition from concrete columns to glulam columns occurs at a height of 500 mm above the ground-level slab. From levels 2 to 8, the TCC slab bands serve as the primary floor structure. These bands eliminate the need for deep glulam beams, offering increased headroom and space for mechanical and electrical components. The slab band is comprised of 244 mm thick 7-ply CLT panels with a 150 mm concrete topping, spanning 9.2 m in the north-south direction. These panels also support non-composite 191 mm thick 7-ply CLT infill panels (Figure 3). Figures 4a and 4b show the cross-section and photo of a panel before concrete pouring, respectively, Figure 4c and 4d present photos of the slab band, before and after the installation of the infill panels.

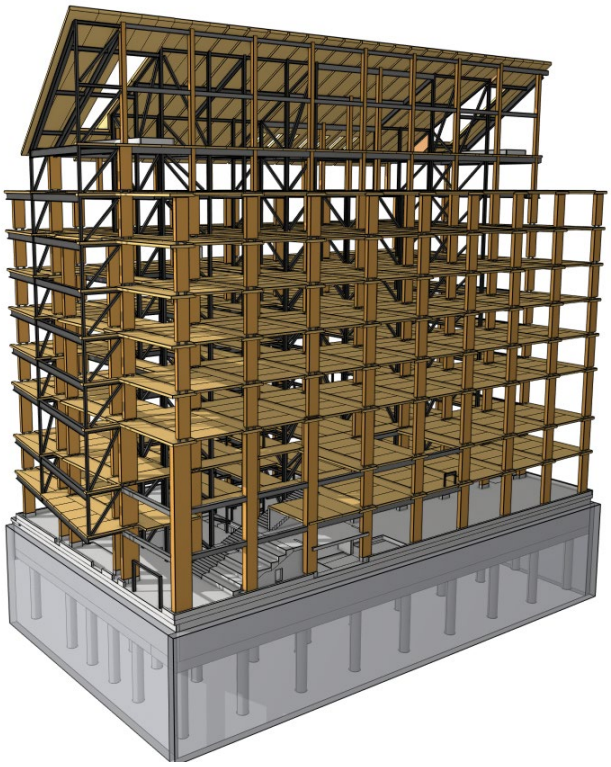


Figure 2: Schematic of Building Gravity and Lateral Systems

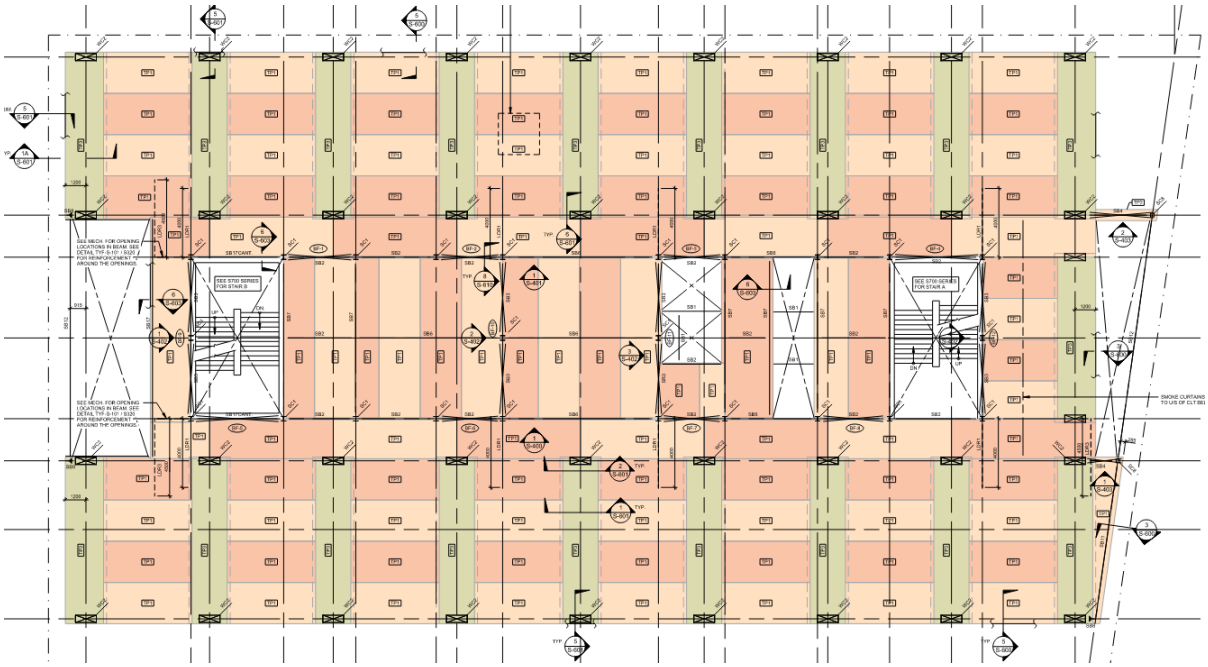
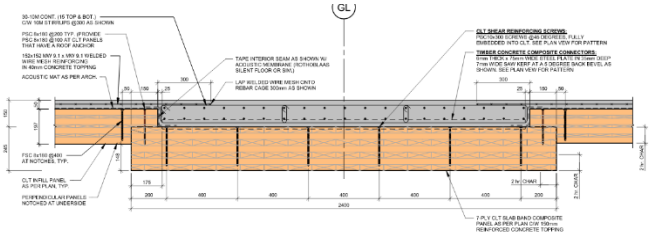
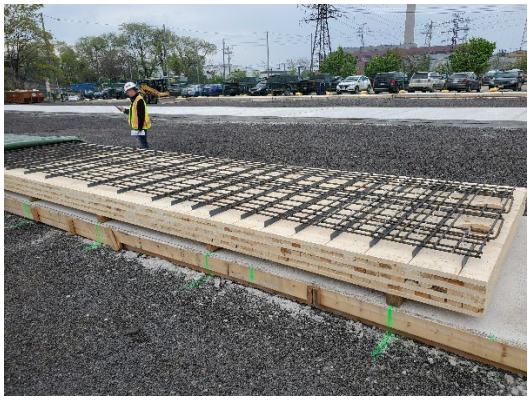


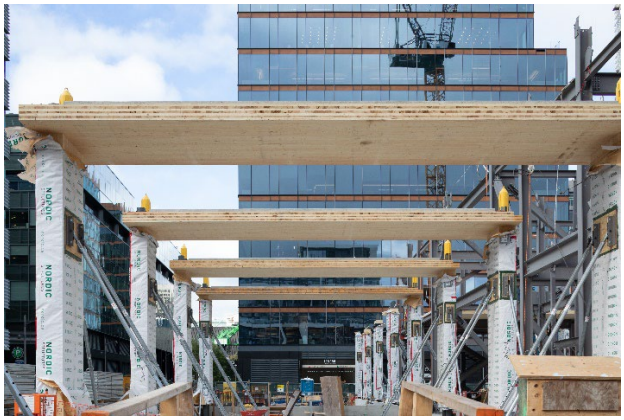
Figure 3: Typical floor plan



(a)



(b)



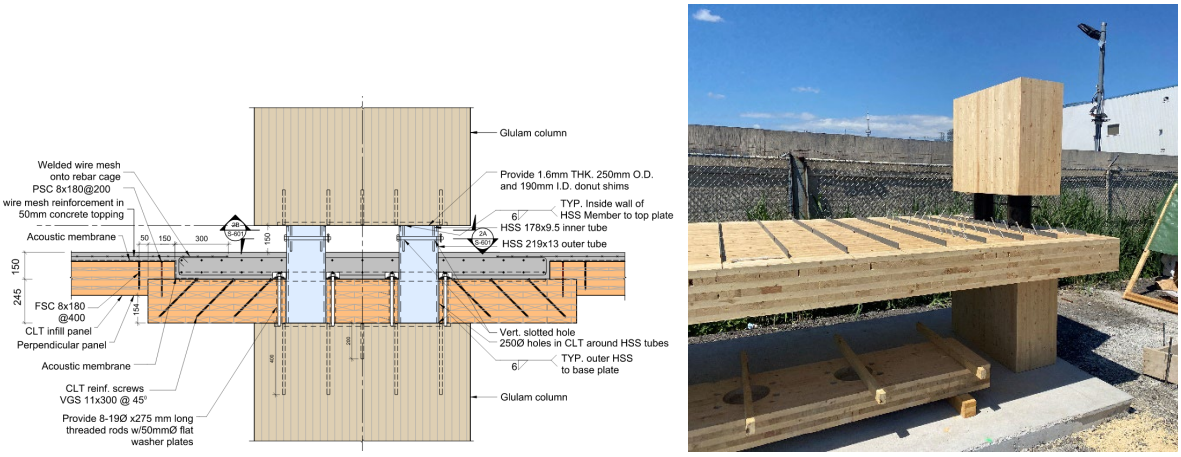
(c)



(d)

Figure 4: a) TCC slab band cross-section, b) slab band before concrete pouring, c) photo of a TCC slab band, d) slab bands with infill slab

The TCC slabs are supported by 422 × 1210 mm glulam columns which are meticulously detailed and positioned beneath the slab bands to withstand unbalanced loading. The column connection, as illustrated in Figure 5, ensures direct load transfer between vertical elements, bypassing the need to transmit forces through the TCC floor panels. Each glulam column is equipped with a steel connecting plate and Hollow Square Sections (HSS) stubs secured to the end grain via glued-in rods. These stubs are connected using bolts, facilitating straightforward installation and serving as a tension connection in rare cases where a column below might need to be removed, satisfying to progressive collapse principles. CLT floor panels are notched to accommodate the HSS tubes and bear directly on the column below.



(a) (b)

Figure 5: Typical floor to column connection- schematic (a), photo from mock-up (b)

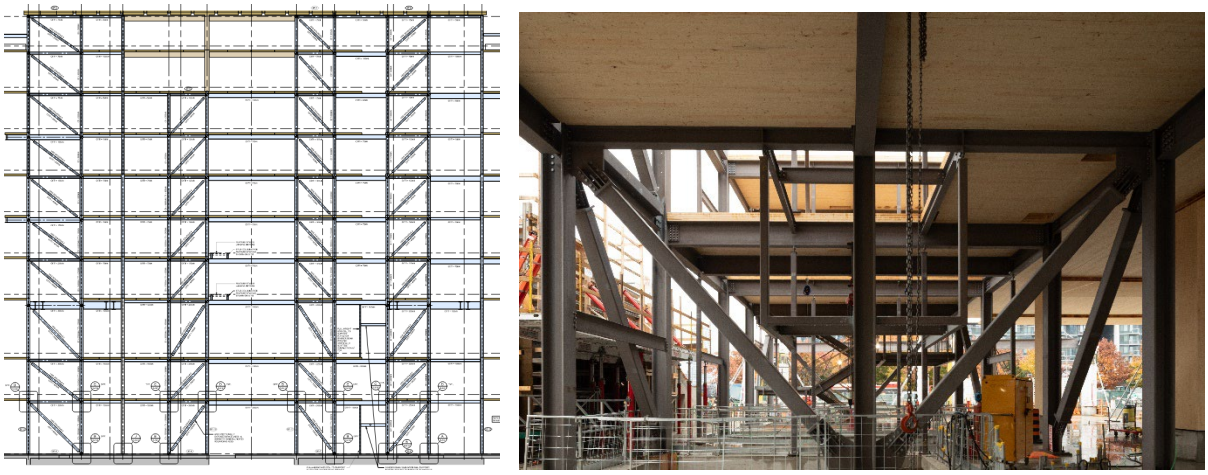
The CLT floor panels on Level 9 support additional loads, including those from the green roof and snow. However, public access to the green roofs on the north and south sides of Level 9 is restricted. For the south green roof, additional double glulam beams are placed under each TCC band to support the column loads above. The columns above, which partially support Level 10 and the roof panels, are anchored to the top of the TCC bands at the mid-span, leading to the termination of the typical «wallumns» at this level. As the building extends to Level 10 and the upper roof, the «wallumns» transition into smaller 430 x 456 mm glulam columns.

On Level 10, a 7-ply CLT deck with a 50 mm non-structural concrete topping spans north-south between glulam purlins supported by the glulam columns below. The structural steel elements in the core area remain consistent with the floor below, and all components within this space are designed for a 2-hour fire rating. The same glulam columns continue upward to support the glulam roof purlins, which consist of 7-ply CLT roof panels spanning between them, following the roof's slope. At this level, there is no concrete topping, primarily for envelope considerations. The west and east sides of the upper roof feature side roofs made of 7-ply CLT panels supported by a series of steel purlins. In the center of these side roofs, sizable louvered openings are planned to function as solar chimneys.

2.3. Lateral System

The primary strategy for achieving lateral stability consists of a long central core of steel-braced frames coordinated with stairs, elevators, and service spaces (Figure 6). While various timber options, such as CLT shear walls and glulam braces, as well as a concrete core system, were considered, a steel-braced system emerged as the preferred choice for several reasons. Firstly, steel braces offer a slimmer profile than glulam equivalents, providing greater flexibility for architectural design and accommodating essential services. Additionally, the steel-braced cores add ductility and overstrength to the structure, improving its efficiency as a seismic force-resisting system compared to timber alternatives. This choice suits the project well due to decentralized mechanical rooms that minimize the need for wall penetrations. Moreover, steel components can be installed alongside timber components and possibly pre-assembled into larger units for swift erection. These steel

braces are designed using Hollow Structural Sections (HSS), with various wide-flange sections for beams and columns within the cores, requiring no additional fire protection. The design accounts for both wind and seismic forces in east-west and north-south directions.



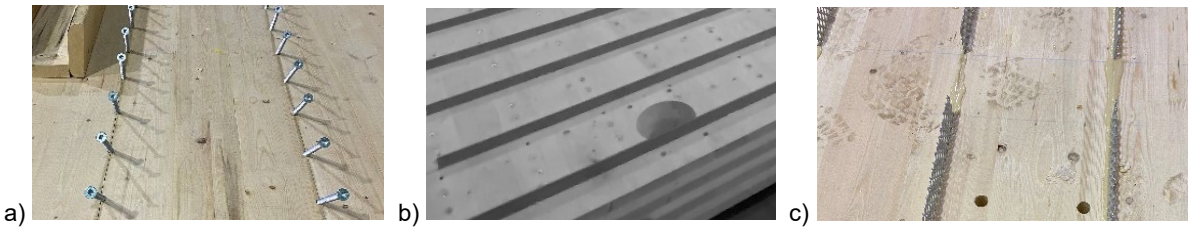
(a) (b)

Figure 6: a) Steel bracing for lateral system, b) construction photo of steel bracing

3. Testing Program

3.1. TCC Slab Band Materials

The TCC slab bands incorporate 245 mm thick E1M5 grade 7-ply CLT panels from Nordic, manufactured in accordance with PRG320. The slab bands were reinforced at two levels (high level: 9 rows of screws are spaced at 75 to 225 mm and low level: 6 rows screws are spaced at 300 mm). The 35 MPa concrete topping is 150 mm thick and was reinforced with 10M longitudinal rebar spaced at 150 mm. Three types of composite connectors were investigated: Type A –ø11×250 mm fully threaded self tapping screws, installed at an angle of 45º; Type B –2100×75×6.4 mm steel plates hammered into 7mm saw kerfs; and Type C – HBV- 2 mm thick and 90 mm deep (45 mm into CLT) perforated plates were glued into a 3 mm kerf using a polyurethane-based adhesive (Figure 7).



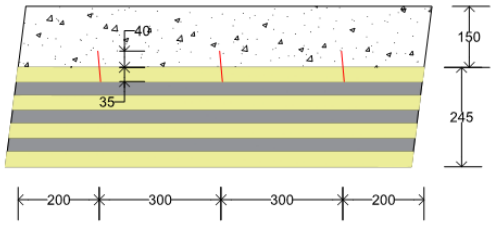
a) b) c)

Figure 7: Slab band connectors a) Type A– fully threaded STS, b) Type B–steel kerf plates, and c) Type C– HBV

3.2. Connector Testing

A total of 18 small-scale shear tests were conducted. These tests investigated the capacity, stiffness, and failure mechanisms of steel kerf plates as TCC shear connectors. These steel kerf plates, measuring 6.4 mm thick and 200 mm in width, were installed within the CLT panel, precisely fitted into a 7 mm wide saw kerf with a 5^0-degree back bevel, as shown in Figure 8. The plate embedment depths into CLT were varied- i) 35 mm deep into the first layer of CLT, ii) 70 mm deep into the second layer of CLT, and iii) 90 mm deep partially into the third layer of CLT. The specimens were tested under in-plane shear by rotating the specimens at 12° similar as per EN-408.

a)



b)



c)

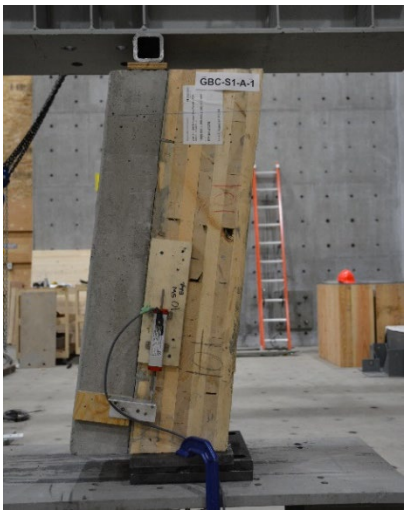


Figure 8: small scale tests with steel plates (a) & (b), photo of a small-scale test (c)

3.3. Half-Scale Slab Band Testing

The shear capacity and failure patterns in high-shear zones, as well as the performance of TCC floors with various shear connectors were evaluated through half-scale testing of CLT panels and TCC slab bands. Test series S2 encompassed 5 m long CLT panels, tested for two replicates each of unreinforced, low-reinforced, and high-reinforced CLT panels, as shown in Figure 9. Series S3-S5 were 5 m long CLT panels with a 150 mm concrete topping.

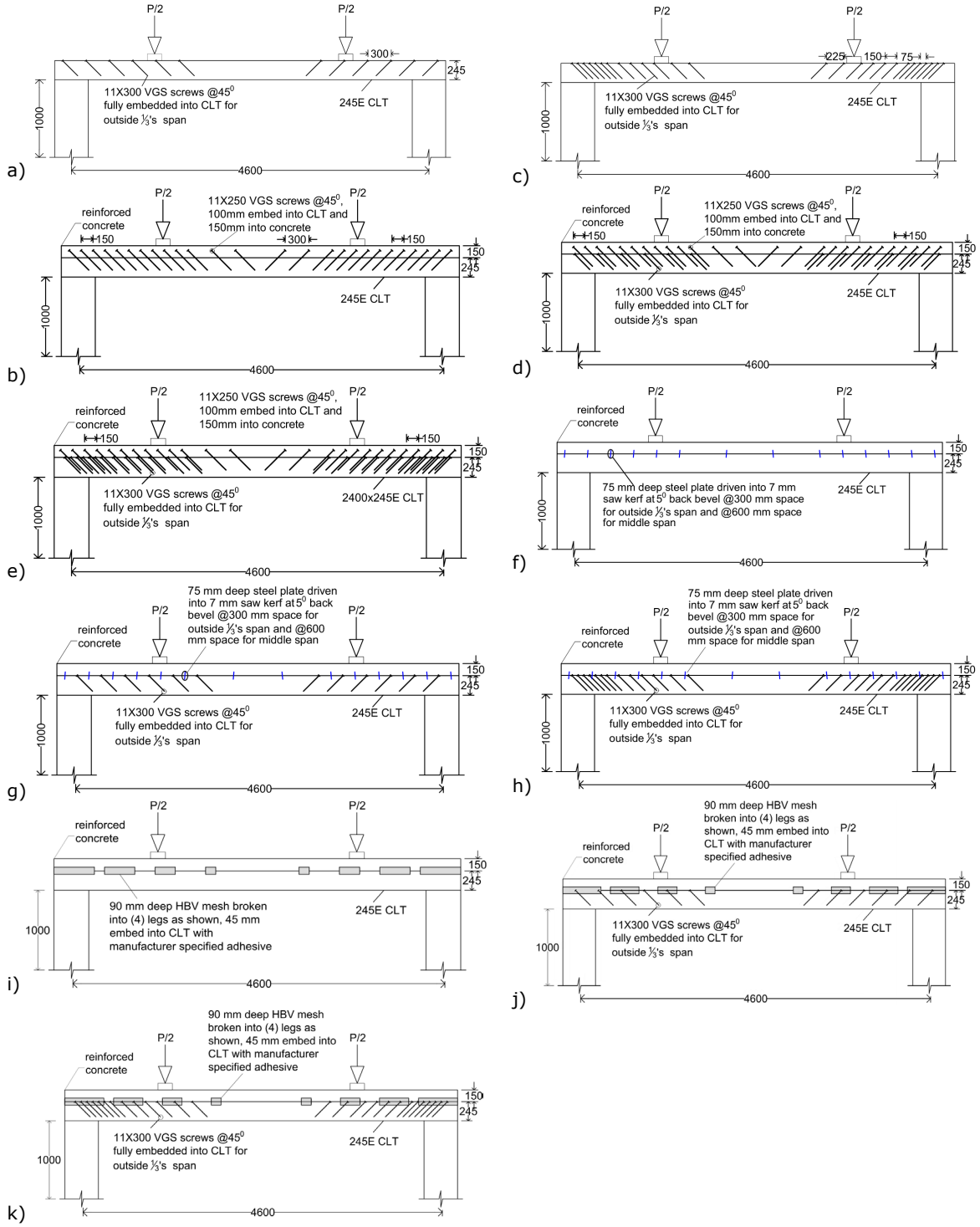


Figure 9: Half-span: series S2 (a) low- and (b) high-reinforced panels; series S3 (c) unreinforced, (d) low- and (e) high-reinforced panels; series S4 (f) unreinforced, (g) low- and (h) high-reinforced panels; series S5 (i) unreinforced, (j) low- and (k) high-reinforced panels

Three connector layouts were deployed in the half-span TCC configuration, illustrated in Figure 7: Type A utilized ø11×250 mm STS connectors installed at a 45º angle; Type B incorporated 2100 mm long and 75 mm deep steel kerf plates, positioned at 300 mm intervals for the outer one-third spans and 1,000 mm for the middle span; and Type C featured HBV mesh connectors with a depth of 90 mm. Each of the half-span TCC floor test series comprised two unreinforced, two low-reinforced, and two high-reinforced specimens, totaling 18 test specimens in all.

3.4. Full-Scale Slab Band Testing

Similar to half-scale testing, all full-scale specimens consisted of 245 mm thick, 7-ply CLT panels with 150 mm concrete topping. These specimens were connected using self-tapping screws, steel kerf plates, and HBV shear connectors (classified as Type A to C) and tested under four-point bending (series S6) and torsional loading (series S7), as depicted in Figure 10. Series S6-S7 comprised 9.6 m long low-reinforced CLT panels with 150 mm concrete topping, featuring three specimens for each connector type, and the connector installation layout can be seen in Figure 9. As with the half-scale specimens, the loads in series S6 were applied at one-third points employing two 500 kN and two 250 kN actuators and distributed along the third-point lines using spreader beams. The torsional specimens were tested under edge loading conditions, as shown in Figure 11, utilizing one 500 kN and two 250 kN actuators. It is worth noting that all full-scale slab band specimens in S6 and S7 were low-reinforced. A total of 6 and 3 TCC slab bands from series S6 and S7, respectively, were tested, with two replicates of S6 and one replicate of S7 for each connector type.

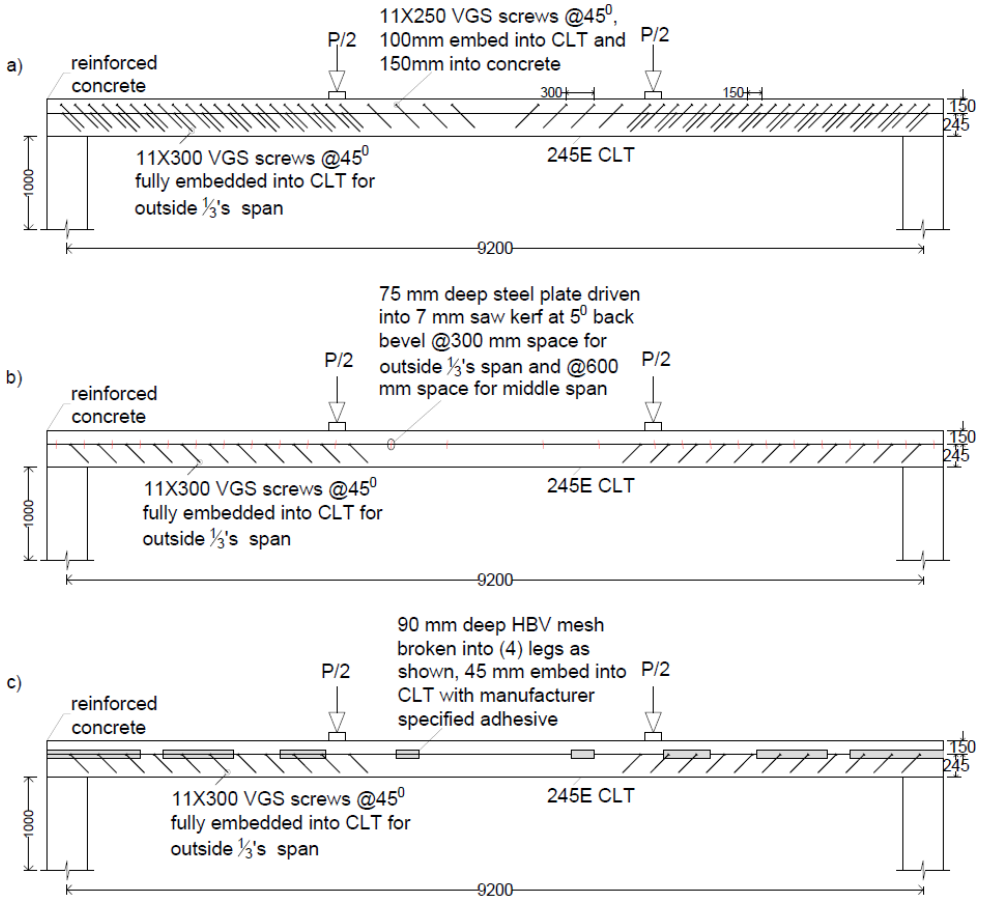


Figure 10: Full-span CLT panels: series S6 and S7 cross-section with: a) Type A, b) Type B and c) Type C TCC connectors

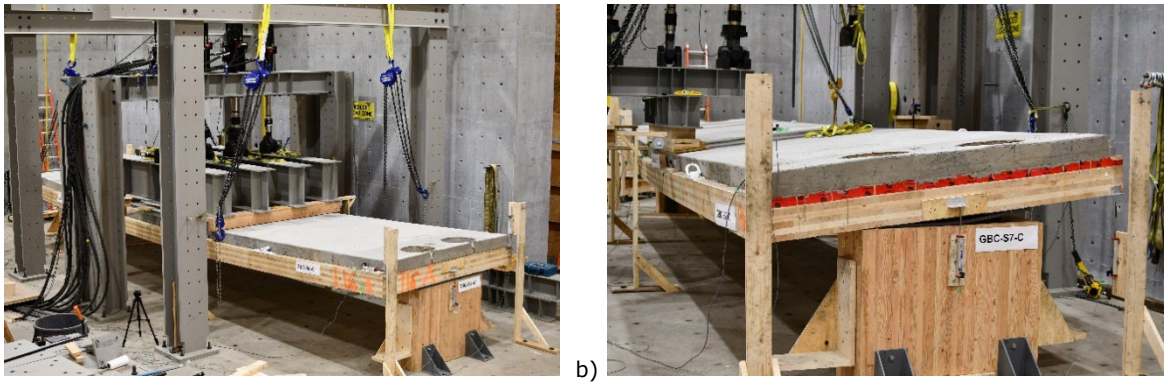
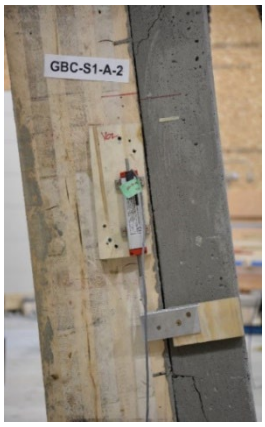


Figure 11: Photo of full-span 4-point bending test (a) and torsional test (b)

3.5. Test Results & Failure Mechanisms

Connector test results:
The connector performance was evaluated from the small-scale tests. As shown in Figure 12, the typical failure patterns revealed distinct post-yield behaviours for connectors with varying embedment depths. Specifically, Connector Type S1-A, featuring a 35 mm embedment depth, displayed the highest deformation capacity, while Connector Type S1-C, with a 90 mm embedment, exhibited the lowest deformation capacity, accompanied by a sharp reduction in load after reaching its peak. The results indicated that embedding kerf plates beyond the first layer of CLT resulted in reduced deformation capacity. Notably, the stiffness characteristics observed at both serviceability and ultimate loads were similar for Type S1-A, Type S1-B, and Type S1-C connectors. In conclusion, deeper embedment beyond the first CLT layer did not yield any enhancement in connection performance. Consequently, the full-scale floor specimens for testing were fabricated using Type S1-A steel plate connectors.

a) 

b) 

c) 

Figure 12: Photo of full-span 4-point bending test (a) and torsional test (b)

Half-Scale Test Results:
Figures 13a-c illustrate common failure patterns observed in series S2, which involves bare CLT panels. In unreinforced panels, failure occurred suddenly and in a brittle manner due to rolling shear near the support, with an average load of 885 kN. In contrast, the low-reinforced panels also experienced shear failure, but at a higher average load of 968 kN.

Figures 14a-c show the typical failure patterns in slab bands with screws in series S3. Unreinforced specimens failed in shear, at an average load of 1,445 kN. One of the low-reinforced panels experienced shear failure at an average load of 1,487 kN and the other did not fail during 4-point bending tests but reached actuator capacities, therefore, after retesting under 3-point loading, it ultimately failed in bending at mid-span. Similarly, both high-reinforced slabs only failed after being retested in a three-point bending configuration with an average load of 1,968 kN. Figures 15a-c show the failure patterns in series S4 for the slab bands with kerf plates. The unreinforced specimens failed in shear, at an average load of 1,482 kN. Both low-reinforced and high-reinforced slabs failed in mid-span bending after being retested in a three-point loading setup, with average loads of 2,586 kN and 2,441 kN, respectively. Lastly, Figures 16a-c show the failure patterns in series S5, which includes slab bands with HBV. All the S5 TCC slab bands with HBV failed in shear near the support, with average loads of 1,261 kN, 1,316 kN, and 1,493 kN, respectively.

a) 

b) 

c) 

Figure 13: Typical failure in series S2 (bare CLT):
a) unreinforced, b) low-reinforced, and c) high-reinforced specimens



Figure 14: Typical failure in series S3 with screws connectors:
a) unreinforced, b) low-reinforced, and c) high-reinforced specimens



Figure 15: Typical failure in series S4 with steel plate connectors:
a) unreinforced, b) low-reinforced, and c) high-reinforced specimens



Figure 16: Typical failure in series S5 with HBV connectors:
a) unreinforced, b) low-reinforced, and c) high-reinforced specimens

Full-Scale Test Results:

Typical failure patterns of the full-scale TCC slab bands in series S6 are illustrated in Figure 17. The slab bands with screws composite connector failed in bending at mid-span at an average load of 706 kN and an estimated bending moment capacity of M_{max} = 1,100 kNm. Similarly, slab bands with Type B kerf plate connectors also failed in mid-span bending, however, at 47% higher loads compared to Type A screw connectors. The average failure load was observed at 1,040 kN and the estimated bending capacity of M_{max} = 1,619 kNm. The TCC slab bands with Type C composite connector HBV failed in connector shear at an average load of 670 kN which was the lowest among the three connector types and the estimated bending capacity was M_{max} = 1,043 kNm. Although HBV connectors in TCC slab bands failed initially, the final subsequent failure occurred at mid-span due to bending.

Typical failure patterns in series S7 under torsional loading are illustrated in Figure 18. The TCC slab bands with Type A screws composite connector reached first failure at 285 kN, and a maximum load of 442 kN at a deflection of 255 mm. The TCC slab bands with Type B kerf plates composite connector reached first failure at 234 kN and a maximum load of 489 kN at a deflection of 261 mm. The TCC slab bands with Type C HBV reached first failure at 257 kN, and a maximum load of only 413 kN at a deflection of 159 mm. Under torsional loading in series S7, the first failure was always triggered by the pull-out of the glued-in rod from the column support followed by failure in bending at mid-span on the loaded side at ultimate loads (Figure 18a). Therefore, in the final project design phase, all glued-in rods are capacity protected using 15 ø16×400 mm glued-in threaded rods instead of 12 ø 16×250 mm rods used in tests.

a) 

b) 
c) 

Figure 17: Typical series S6 failures under 4-point bending on full-scale TCC slab bands with:
a) screw connectors, b) kerf plates connectors, and c) HBV connectors

a) 

b) 
c) 

Figure 18: Typical series S7 failures under torsional tests:
a) bending failure on edge, b) panel uplift, and c) glued-in rod failure

4. Conclusion

Fast + Epp has undertaken a comprehensive and integrated design approach for one of Toronto's tallest timber buildings. A notable feature of this innovative design is the «slab banded» gravity frame, which not only offers architectural flexibility but also facilitates unobstructed mechanical distribution. This timber gravity system is seamlessly integrated with a steel-braced frame core, enabling the erection of a prefabricated «kit of parts» in conjunction with the envelope system.

Extensive testing was carried out to assess the performance and efficiency of TCC slab bands, utilizing various composite connectors. The incorporation of screw reinforcement within CLT panels significantly enhanced their shear capacity. Furthermore, some heavily reinforced specimens exhibited a shift in failure modes from shear to bending failure. The addition of a 150 mm concrete topping, connected in a composite fashion to the CLT panel, increased the out-of-plane shear capacity by as much as 167% compared to bare CLT panels. In some TCC specimens, weak-axis shear failure was observed due to warping over the glulam columns. To mitigate this issue, diagonal reinforcing screws were introduced in the transverse direction at the end of the slab bands, a crucial design modification was implemented. Among various options, TCC with steel kerf plates emerged as the most cost-effective choice, with the highest capacity and stiffness, as validated by pricing from multiple suppliers. Consequently, this solution was adopted for the final design.

The structural testing program has not only paved the way for a cost-effective timber composite system but has also provided invaluable insights to the engineering team. The project is close to the end of its construction phase, with a targeted occupancy in 2024.



Figure 19: Construction photo of a typical floor plate

Holz-Hybrid-Hochhaus CARL, Pforzheim: Erkenntnisgewinn aus dem Planungs- und Bauprozess

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



Holz-Hybrid-Hochhaus CARL, Pforzheim: Erkenntnisgewinn aus dem Planungs- und Bauprozess

1. Einleitung

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



Abbildung 1: Visualisierung des Gebäudeensembles © Peter W. Schmidt Architekten

Das Projekt CARL veranschaulicht die Komplexität der Planung von Holz-Hochhäusern. Als Holz-Hybrid-Hochhaus erschließt CARL neue Themenbereiche und nimmt eine Vorreiter Rolle ein. Gegenwärtig existieren in Deutschland nur vereinzelte Referenzen auf die sich Planer aber auch Genehmigungsbehörden beziehen können. Das Projektteam entwickelte daher neue Lösungsvorschläge und Ansätze, wie sich Holzbau im Hochhaussektor realisieren lässt. Die Hochhausrichtlinie, als eine Richtlinie, die an konventionellen Bauweisen orientiert ist, sowie die Holzbaurichtlinien, setzen hier den Rahmen, innerhalb dessen die Projektbeteiligten neue Lösungen verhandeln.

Ein Projekt wie CARL erfordert eine Lernbereitschaft aller Beteiligten, da im Prozess kontinuierlich neue Lösungen erarbeitet werden müssen. Aufgrund des erhöhten Planungsaufwands lassen sich Projekte dieser Art nur schwer gewinnbringend realisieren. Als «Leuchtturmprojekt» leisten sie jedoch einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung des Bauens mit Holz. Die gesellschaftliche Akzeptanz wird gestärkt und Vorbehalte auch von Behördenseite gegenüber Holzbauten im Allgemeinen können reduziert werden.

2. Ausgangssituation

Das Projekt CARL entsteht auf einem etwa 5.000 m² großen Grundstück, welches die Baugenossenschaft Arlinger von der Stadt Pforzheim erworben hatte. In der Vergangenheit hatte das Grundstück wenig Beachtung gefunden und wurde als unattraktiv betrachtet. Erst als ab dem Jahr 2015, aufgrund des verstärkten Zuzugs, auch nach innerstädtischen Bauflächen gesucht wurde, insbesondere für die Errichtung von Flüchtlingsunterkünften, geriet das Areal in den Fokus. Nicht zuletzt aufgrund seiner Lage vor den Toren des Stadtteils Arlinger hat sich die Baugenossenschaft Arlinger darum bemüht. Seitens der Baugenossenschaft Arlinger wurde gemeinsam mit dem Büro Peter W. Schmidt Architekten überlegt, welche Verbesserungen diesem eher unwirtlichen Areal verliehen wer-den könnten. Daraus resultierte die Erarbeitung eines Dreiklangs an Aspekten für die weitere Planung.

2.1. Städtebau

Das Projekt wird als Landmarke den westlichen Stadteingang Pforzheims kennzeichnen. Im Weiteren ist das Holz-Hybrid-Hochhaus CARL, zusammen mit den beiden dazugehörigen Gebäuderiegeln, ein anschauliches und gutes Beispiel für die Aspekte der städtischen Nachverdichtung und Innenentwicklung. Von dieser exponierten Lage profitiert der Baustoff Holz. Das Gebäude wird eine gute Sichtbarkeit erfahren und damit die Akzeptanz des Baustoffes stärken.

2.2. Nutzungsvielfalt

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

2.3. Innovation

Schnell wurde die Entscheidung getroffen, den Hochpunkt des Projekts in Holzbauweise zu errichten. Es war dabei besonders wichtig, ein Gebäude von hoher Glaubwürdigkeit zu schaffen und wo möglich konventionelle Baumaterialien zu substituieren und dies sowohl im Innen- als auch im Außenbereich erlebbar zu machen. Diese frühe Entscheidung für den Baustoff Holz war essenziell. Nur durch das Planen mit Holz von Beginn an, sowie durch die frühe Abstimmung mit Fachplanern, Behörden und Feuerwehr, lässt sich ein Projekt wie CARL realisieren. Wesentliche Details müssen bereits in den frühen Leistungsphasen mit allen Beteiligten entwickelt und geprüft werden.

3. Architektur und Städtebau

Das Gebäudeensemble, dessen Hochpunkt das 14-geschossige Holz-Hybrid-Hochhaus CARL darstellt, soll als neues städtisches Markenzeichen der Stadt Pforzheim fungieren. Im Sinne einer nachhaltigen Stadtentwicklung besetzt das Ensemble eine langjährige Brache und leistet so einen Beitrag zur «Stadtreparatur». Das Grundstück am westlichen Stadteingang Pforzheims markiert einen wichtigen Punkt auf dem Weg in den Schwarzwald. Diesen Bezug zu Landschaft, Handwerkskunst und Tradition nimmt das Hochhaus CARL auch in seiner Holzfassade auf und veranschaulicht die Qualitäten eines urbanen Holzbaus, der sich sowohl des regionalen Fachwissens im Holzbau als auch moderner digitaler Fertigungstechniken bedient.
Die markanten, geschossweise auskragenden Beton-Krempen dienen nicht nur technischen Anforderungen, sondern leisten auch einen Beitrag zur architektonischen Gestaltung des Gebäudes. Im Zusammenspiel mit der vertikalen Stollenfassade und den schlanken bodentiefen Fenstern entwickelt das Gebäude eine filigrane Ansicht. Die Kompaktheit des Gebäudes ermöglicht es alle Räume mit Tageslicht auszubilden. Die intelligente Gliederung der Grundrisse reduziert die Wohnfläche pro Kopf und hält damit auch die Mietkosten auf einem erschwinglichen Niveau. Jede Wohneinheit verfügt zudem über eine geräumige Loggia mit je zwei Ausrichtungen.



Abbildung 2: Das Gebäudeensemble im städtebaulichen Kontext © Peter W. Schmidt Architekten

4. Nachhaltigkeit

Die wirtschaftliche Geschichte der Region ist eng verknüpft mit der Holzgewinnung im Schwarzwald. Erstaunlich, dass der Holzbau in unserer Zeit bislang hier keine nennenswerte Rolle spielte. Das Holz-Hybrid-Hochhaus CARL kombiniert nun ökologische Erfordernisse mit der regionalen Holz-Affinität und wird neben dem Nachhaltigkeitsaspekt auch die ästhetischen Qualitäten des Holzes zur Geltung bringen. Konsequenterweise stammt daher auch das Material, wo möglich, aus der Region: Ein Großteil des für den Neubau eingesetzten Holzes wurde im Pforzheimer Stadtwald geschlagen und im Anschluss beim Holzbauunternehmen zu Brettsperrholz verarbeitet.

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



Abbildung 3: Außen- und Innenansicht der fensterhohen Lüftungskammern, welche die Wohnungen auf natürliche Art und Weise mit Frischluft versorgen © Peter W. Schmidt Architekten

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

Die «Komplexität» des Bauens mit Holz im Hochhausbereich wird auf dem Dach erfahrbar. Aufgrund der hohen Brandschutzanforderungen war eine PV-Anlage auf dem Dach des Hochhauses nicht möglich. Auch eine Begrünung der Dachfläche wurde zunächst kritisch bewertet, da im Falle einer Austrocknung in den Sommermonaten hier Brandlasten entstehen. Zugleich war die Begrünung von städtischer Seite gefordert und stellt im Rahmen der Klimaanpassung deutscher Städte einen wesentlichen Beitrag dar. Diese gegensätzlichen Anforderungen wurden im interdisziplinären Team intensiv diskutiert und eine Begrünung letztlich in Parzellen realisiert. Im Brandfall wäre somit nur eine kleine Fläche betroffen. Das Beispiel des Daches veranschaulicht die Komplexe Planungssituation, in die sich Projekte dieser Höhe in Holzbauweise begeben. Teils stehen sich Anforderungen der Ökologie und der Sicherheit gegenüber. Hier braucht es ein disziplinübergreifendes Planungsteam, das bereit ist, neue Wege zu gehen. Die aktuell entstehenden Hochhäuser in Holzbauweise in Deutschland nehmen in diesem Spannungsfeld eine Pionierfunktion ein und schaffen Referenzen für zukünftige Projekte.

5. Konstruktion

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



Abbildung 4: Gebäudeensemble – Ansicht West © Peter W. Schmidt Architekten

5.1. Bauablauf und Meilensteine

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

5.2. Erschließungskern

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

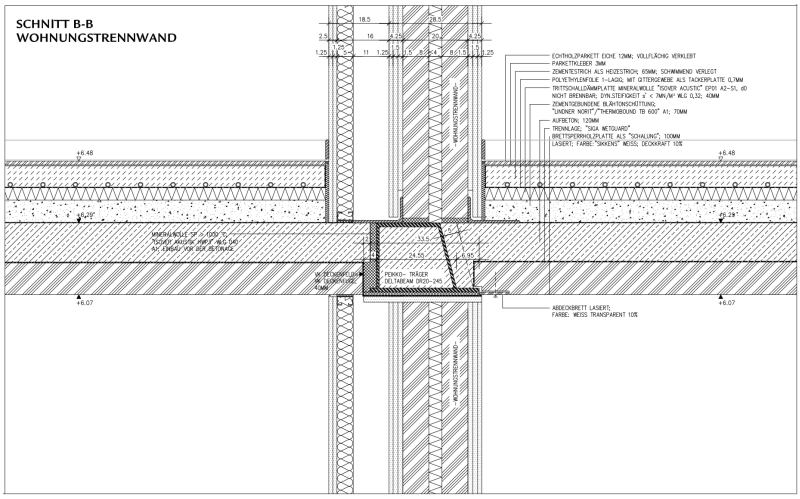
Eine weitere Besonderheit des Gleitschalverfahrens ist, dass aus technologischen Gründen eine Unterbrechung unter allen Umständen zu vermeiden ist. Dies führte dazu, dass beim Bau des Treppenhauskerns ein 24-Stunden-Betrieb eingerichtet wurde. Dadurch wuchs der Treppenhauskern des Holz-hybrid-Hochhauses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



Abbildung 5: Der Treppenhauskern wuchs mittels Gleitschalverfahren in etwa 4 m pro Tag in die Höhe
© Christoph von Zepelin

5.3. Statisches Konzept

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



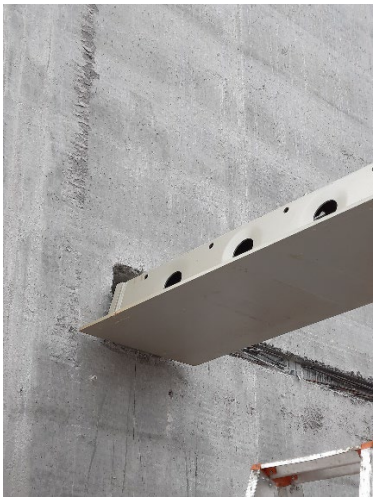


Abbildung 6: Schnitt Deltabeam-Träger © Peter W. Schmidt Architekten
Abbildung 7: Anschluss Deltabeam-Träger an Treppenhauskern © Peter W. Schmidt Architekten

5.4. Holzbau

5.4.1. Außenwandkonstruktion

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

A

1. Gipsfaserplatte 2 x 15mm
2. Installationsebene 60mm
3. Gipsfaserplatte 15mm
4. Dampfsperre
5. Mineralwolle zw. BauBuche-Stützen 260mm
6. Wärmedämmung 60mm
7. Gipsfaserplatte 18mm
8. Fassadenbahn
9. Lattung, Fichte
10. Konter-Lattung, Fichte
11. Stollenfassade, Douglasie

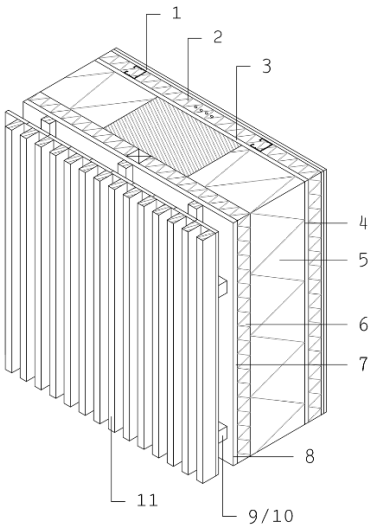


Abbildung 8: Aufbau Außenwand © Peter W. Schmidt Architekten

5.4.2. Nichttragende Innenwände

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

5.4.3. Decken und Wohnungstrennwände

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

Fußbodenaufbau

1. Bodenbelag 12mm (Parkett)
2. Kleber 3mm
3. Heiz-Zementestrich 65mm
4. Tackerplatte
5. Trittschalldämmung 40mm
6. Blähtonschüttung 70mm
7. Trennlage PE-Folie
8. Aufbeton 120mm
9. Brettsperrholzdecke 100mm

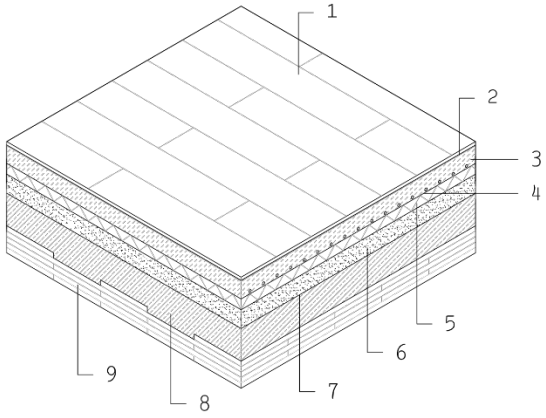


Abbildung 9: Aufbau Boden © Peter W. Schmidt Architekten

5.4.4. Holzfassade und Beton-Krempe

In der Fassadengestaltung wird der Baustoff Holz bewusst nach außen getragen. Die Stollenfassade aus Douglasie kleidet alle 14 Geschosse des Holz-Hybrid-Hochhauses und wurde bereits werkseitig mit einem Vorvergrauungsanstrich versehen. Die markanten, geschossweise angeordneten Beton-Krempen des Gebäudes verhindern mit einem Fassadenüberstand von > 1,00 m einen Brandüberschlag zwischen den Geschossen und ermöglichen es dadurch, eine Holzfassade sowie bodentiefe Holzfenster unter Einhaltung aller Brandschutzvorschriften zu realisieren. Zugleich stellt die Beton-Krempe einen baulichen Holzschutz der Fassade dar und überträgt dieses technische Detail in eine zeitgemäße und charakteristische Architektursprache.

Die an drei Seiten jedes Geschosses angeordneten Loggien haben neben der Wohnqualität eine zusätzliche Funktion. Im Falle eines Fassadenbrandes würden sie diesen unterbrechen. Einem «Ringbrand» eines ganzen Geschosses wird damit vorgebeugt. Die Loggien und die Beton-Krempe machen in diesem Zusammenspiel einen etwaigen Fassadenbrand kleinteilig und kontrollierbar. Hierbei veranschaulicht das Projekt, dass sich technische Anforderungen an einen Bau auch durch intelligente Gestaltung lösen lassen und ermöglichte beispielsweise den Verzicht auf eine Sprinkleranlage.

Auch im Bauablauf stellt die Krempe einen Mehrwert dar: Die vorgefertigten Holzfassadenelemente liegen bereits während der Bauphase in den entsprechenden Geschossen montagebereit ab und können über die großen Loggien und über die Beton-Krempe von zwei Monteuren eingebaut werden.

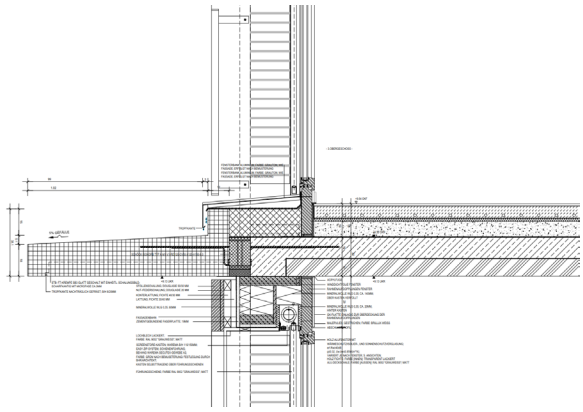




Abbildung 10: Detail Betonkrempe © Peter W. Schmidt Architekten
Abbildung 11: Beton-Krempe im Rohbauzustand, zusätzlich zu sehen sind die Iso-Körbe, welche die Verbindung zwischen HBV-Decke und Betonkrempe gewährleisten © Peter W. Schmidt Architekten

5.4.5. Eingesetzte Produkte und Holzarten

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

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

6. Ausblick

Das Projekt CARL veranschaulicht die Komplexität der Planung von Hochhäusern aus Holz. Als Holz-Hybrid-Hochhaus erschließt CARL dabei neue Themenbereiche und nimmt eine «Vorreiterrolle» ein. Die Hochhausrichtlinie, als eine Richtlinie, die an konventionellen Bauweisen orientiert ist, sowie die Holzbaurichtlinien, setzen hier den Rahmen, innerhalb dessen die Projektbeteiligten neue Lösungen verhandeln.

Ein Projekt wie CARL erfordert eine Lernbereitschaft aller Beteiligten, da im Prozess kontinuierlich neue Vorschläge erarbeitet werden müssen. Aufgrund des erhöhten Planungsaufwands lassen sich Projekte dieser Art nur schwer gewinnbringend realisieren. Als Leuchtturmprojekt leisten sie jedoch einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung des Bauens mit Holz. Die gesellschaftliche Akzeptanz wird gestärkt und Vorbehalte auch von Behördenseite gegenüber Holzbauten im Allgemeinen können reduziert werden.

Damit veranschaulicht CARL, wie sich die hohen technischen Auflagen beim Bauen von Holzhochhäuser in kreative, gestaltprägende Lösungen verwandeln lassen. Aufgrund der innovativen Holz-Hybridbauweise erzielte das Projekt bereits während der Planungsphase eine starke mediale Resonanz. Die Anerkennung des Projekts als «Leuchtturmprojekt» in Baden-Württemberg durch Politik und Verbände lässt auf eine Katalysatorwirkung und weitere Bauvorhaben dieser Art hoffen.



Abbildung 12: Blick auf das Gebäudeensemble, Stand Sommer 2023 © Achim Birnbaum

7. Daten

Die Eckdaten des Gebäudeensembles teilen sich wie folgt auf:

Holz-Hybrid-Hochhaus CARL (Haus 1)

Geschosse:	14
Höhe:	45 m
Mietfläche:	2700 m²
Wohneinheiten:	37
Nutzung:	Wohnen, Gewerbe
Besonderheiten:	Holzbau, Holzfassade, Loggia in jeder Wohnung, höchstes Holzhochhaus Süddeutschlands

Gebäuderiegel mit Kindertagesstätte (Haus 2)

Geschosse:	6
Höhe:	20 m
Mietfläche:	1560 m²
Wohneinheiten:	24
Nutzung:	Wohnen, Kindertagesstätte
Besonderheiten:	Kindertagesstätte

Gebäuderiegel (Haus 3)

Geschosse:	4
Höhe:	12 m
Mietfläche:	915 m²
Wohneinheiten:	12
Nutzung:	Wohnen
Besonderheiten:	Laubengang

8. Projektbeteiligte

Tabelle 2: Projektbeteiligtenliste

Bauherr
Baugenossenschaft Arlinger eG
Hohlohstraße 6
D-75179 Pforzheim

Architekt
Peter W. Schmidt +
Assoziierte GmbH & Co. KG
Kuppenheimstraße 4
D-75179 Pforzheim

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

Holzbauunternehmen
Züblin Timber GmbH
Industriestraße 2
D-86551 Aichach

Tragwerksplanung (LPH 1 – 3)
merz kley partner GmbH
Sägerstraße 6
A-6850 Dornbirn

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

Tragwerksplanung (ab LPH 4)
B+G Ingenieure Bollinger und
Grohmann GmbH
Westhafenplatz 1
D-60327 Frankfurt am Main

Mid- and high-rise timber buildings in Japan

Mikio Koshihara
Institute of Industrial Science,
the university of Tokyo
Tokyo, Japan



Mid- and high-rise timber buildings in Japan

1. Forests and Timber buildings in Japan

Buildings in Japan have been constructed using timber since olden times. At the same time, Japan is a country beset by earthquake and timber buildings were weak against fire. So, from 1950 to 1987 timber buildings over 13m height were prohibited by law. Revision of the Building Standards Law 2000 allowed the construction of timer buildings four-story or taller with fire-resistance performance.
In Japan, as typified by Horyu-ji Temple, timber structures have been built since ancient times. To protect them from wind, rain, and outside enemies, they have been built using natural materials that are readily available. In Japan, where forest resources are abundant, wood was used, stone was used if it was readily available, and adobe bricks were used in arid regions.

In modern times, advances in science and technology have led to the creation of purpose-made industrial products from natural materials. In the architectural world, steel and reinforced concrete are representative of such products, and in the Modernism architecture was born under a rational spirit in combination with glass. In Japan, too, buildings made of steel, concrete, and brick became mainstream after the Meiji era. In particular, damage to timber buildings caused by the war, together with the movement to make cities noncombustible and the depletion of forest resources due to the war, led to the restriction of wood use in the building industry to detached wooden houses.

In the 1980s, trade friction and the development of timber construction technology led to the deregulation of timber construction for large-scale spatial structures and three storied timber buildings, but timber construction remained limited to local use, as symbolized by local production for local consumption.

In 2000, with the introduction of performance standards in the Building Standard Law, as shown in Figure 1, the use of forest resources was aimed at, since the forests planted after World War II had reached the stage of utilization for trees of 50 years old or older, and forests were being revitalized in response to global warming. The main trees planted in Japan at this time were Japanese cedar and cypress, which are the main building materials.

In 2010, the «Law for Promotion of Use of Wood in Public Buildings, etc.» was enacted to promote the use of wood in low-rise public buildings, such as low-rise schools and government buildings, and in 2021, the «Law for Promotion of Use of Wood in Buildings, etc. for Contributing to Realization of a Decarbonized Society» was enacted to promote the use of wood in buildings.

In 2021, the «Law for Promotion of Use of Wood in Buildings, etc. to Contribute to Realization of Decarbonized Society» was revised and renamed, which expanded the use of wood in buildings from public buildings to buildings in general, including private buildings. The goal was to shift from local production for local consumption to promote the use of wood in urban areas, in other words, large-scale, midrise- and high-rise urban timber construction.

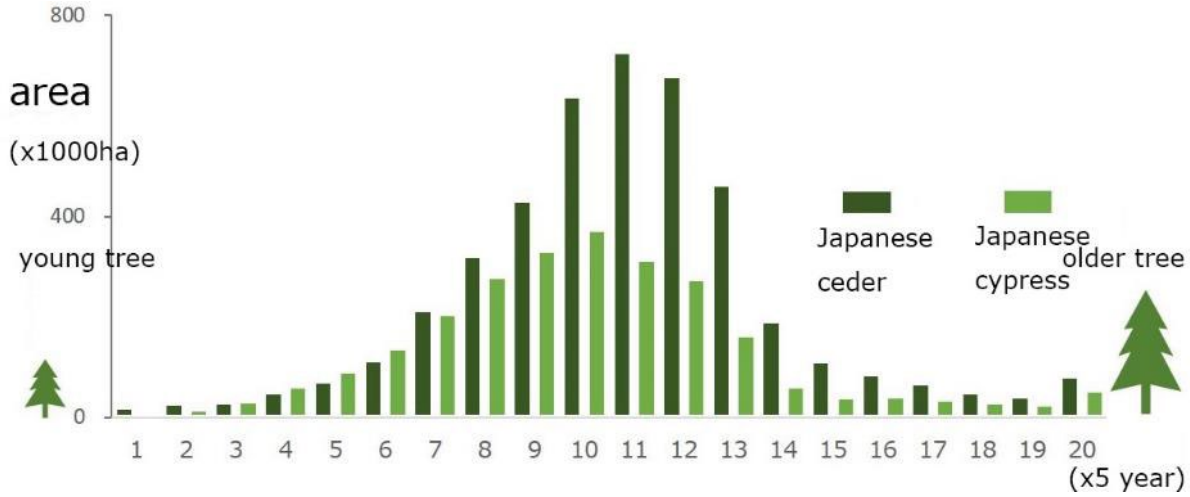


Figure 1: Area of cedar and cypress plantation forests by age grade

2. Timber buildings

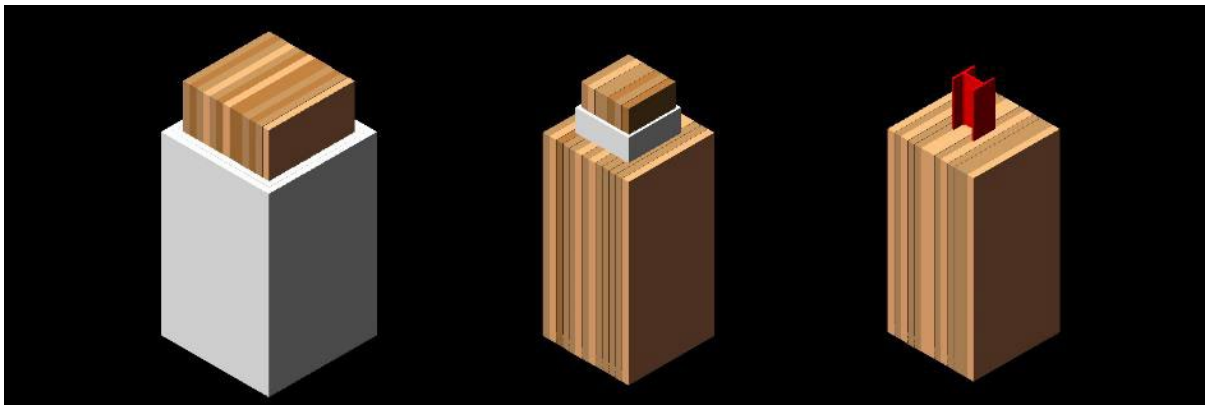
Timber buildings in rural areas aimed at local production for local consumption were originally able to satisfy the limitations on the scale of timber buildings, such as the size of the site, the number of stories of the building, and the area. However, in urban areas, where land prices are high, the scale and use restrictions are so severe that it is impossible to achieve the required architecture, The revision of the Building Standards Law in 2000 made fire-resistant buildings feasible, which greatly expanded the scale (building height, total floor area, etc.) and applications of timber buildings that can be constructed in urban areas. However, large-scale timber buildings in high-density urban areas are an unknown world, having never been experienced in the more than 1,400 years of Japanese wooden building, including Horyu-ji Temple. In terms of traditional wooden building, only the Great Buddha Hall of Todai-ji Temple (floor area of approximately 2,800 m2) is known as a large building in terms of plan, the five-storied pagoda of Toji Temple (height of approximately 55 m) exceeds 50 m in height, and Himeji Castle (six storied) is large in terms of number of floors.

As of November 2023, the tallest skyscraper in Japan is the Azabudai Hills Mori JP Tower in Tokyo, completed in 2023, with 64 floors above ground and 5 floors below with a height of 330 m, surpassing the previous tallest building in Japan, Abeno Harukasu in Osaka.

In the midst of these cities of reinforced concrete and steel-framed high-rise buildings, timber buildings have become legally possible, but this is only the beginning.

3. The birth of urban timber building

The biggest obstacle to wooden construction in urban areas was fire prevention technology. It was necessary to solve the contradiction of using wood, a material that burns, to create fire-resistant buildings. In the «Development of Wood Composite Building Structure Technology» (1999-2003), which started in 1999, three types of wood-based fire-resistant members were developed and maintained. (1) general covering-type members, in which wood is covered with a non-flammable surface material such as gypsum board; (2) «MOEDOMARI», fire stop, members, in which the carbonization time of the wood around the perimeter is used to secure evacuation time, and the fire stop layer and structure are treated with a flame retardant coating; and (3) built-in steel members, in which a large heat capacity steel material is incorporated to reduce the temperature rise of the wood around the perimeter. (Figure 2).



(1) general covering-type members (3) built-in steel members
(2) «MOEDOMARI», fire stop, members

Figure 2: Wood fire-resistant members

First, wood fire-resistant members were certified by the minister as one-hour fire-resistant members, which made it possible to realize fire-resistant timber construction of the upper four floors of a building (or the second to fifth floors in a five-story building). In 2004, a two-by-four building using wood panels for face plate bearing walls was certified as a fire-resistant wood-frame member with general cladding, and a three-story wooden house was constructed. 2005 saw the completion of the Kanazawa M-Building (Ishikawa Prefecture), a five-story building (first floor: RC, second to fifth floors: wood hybrid structure).

In the same general cladding type, the fire resistance performance required for vertical load bearing members (dead weight, loading, snow loads, etc.) and horizontal force resisting elements (earthquakes, wind, etc.) are different. The Shimouma housing complex (Tokyo, 2013) was completed.

In 2006, a fire-resistant material that can be used as a vertical load-bearing member with a fire-retardant structure using exposed wood was approved by the Minister of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism, and completed in 2013 at Southwood, a large-scale commercial facility in Kanagawa Prefecture, and Osaka Timber Association Building in Osaka Prefecture.

In 2013, following the development of large-section laminated timber, JAS certification was established for a new wood material, Cross Laminated Timber(CLT). The JAS standard for CLT was established in 2013, and now, laminated laminates 270 mm thick, 3 m wide, and 12 m long can be used for walls and floors.



Kanazawa M-Building



Shimouma housing complex



Osaka Timber Association Building



interior



CLT company dormitory



Kochi Timber Association Building

Figure 3: The birth of urban timber building

4. Development of urban timber building

In the 2010s, the development and improvement of wood fire-resistant members were put into practical use, and further technological development and legal revisions were repeated, aiming for more user-friendly and attractive urban timber building. A five-story timber apartment building in Niigata was completed in 2018, and a seven-story timber office building in Sendai was completed in 2021. In urban areas, even high-rise, large-scale timber buildings are being aimed for, with the completion of the 44.1-meter-high, 11-story PORT PLUS in Yokohama in 2022 as the current achievement of pure-timber construction. It presents a large-section column and beam structure, finishing materials made from a variety of wood materials, and the potential for wood utilization.

Since the late 2010s, economic efficiency and rationality have also been considered for its widespread use. Unfortunately, as a building structural material, the use of wood, a new material, increases construction costs compared to reinforced concrete and steel structures, which have been evolving for nearly 100 years. Even for buildings that are technically feasible with timber construction, the efficient use of wood becomes desirable in terms of cost. First, attention was focused on the use of timber construction in the upper four stories, where fire resistance requirements are slightly lower. Especially in high-rise buildings, the upper floors offer good views and are easy to add value. In Tokyo, as the demand for higher buildings increases from 4- or 5-story timber buildings, they are being realized as mixed-story buildings in the vertical direction.



PORT PLUS (back)



PORT PLUS (interior)



The Royal Park Canvas Sapporo



Kokubunji FlavorLife Office



JUTEC

Figure 4: Development of urban timber building

The Royal Park Canvas Sapporo Odori Koen (Hokkaido), completed in 2021, is an 11-story building with the top three floors (9-11) constructed of wood. The seven-story Kokubunji FlavorLife Office Building has the top four stories constructed of timber.

On the other hand, planar mix structures that actively employ timber construction in areas facing the street are also attractive as urban timber structures that create urban landscapes. The HULIC & New GINZA 8 (2022/TOKYO) and the JUTEC headquarters building (2023/ TOKYO), are designed to create a new landscape facing the street.

As for actual projects currently underway, Mitsui Fudosan and Takenaka Corporation are planning a 17-story, 70-meter-high office building in Nihonbashi to be completed in 2025, and Tokio Marine Holdings, Inc. and Tokio Marine & Nichido Fire Insurance Co. are planning a 20-story, 100-meter-high office building in Marunouchi, 2028.

5. Aiming for a Timber Skyscraper

In 1968, Japan's first skyscraper, the Kasumigaseki Building, was built in Kasumigaseki. It was a steel-framed skyscraper 147 meters high, realized based on the concept of a flexible structure. Fifty years have passed since then. Modern construction technology has made remarkable progress, and after «reinforced concrete» and «steel-frame» construction, «timber» technology is now well established as the structural type that makes skyscraper possible.

Sumitomo Forestry Co., Ltd. has announced the W350 Plan, a research and technology development concept to realize a 350-meter-high timber skyscraper by 2041, the 350th anniversary of its founding.

The NPO team TIMBERIZE has proposed Timberize200, a 200-meter-high timber skyscraper. It is an experimental attempt to see what would happen if the plan and structural span of the «Kasumigaseki Building» were followed and realized using state-of-the-art timber technology. The height of the building was set at 200 m, which is the height at which a timber structure alone can be constructed. By focusing on the elemental technologies required to realize the structure, we attempted to confirm our current state of achievement and to identify the issues that need to be addressed in the next step. The most important feature of Timberize 200 is that it consists of the following three components. The Omo-ya (main frame), the Shitsurai (sub-frame), and the Tategu (screen).

These components are an extension of the techniques developed in traditional wooden architecture. The 2m-square super-large-section axial frame structure that lines up homogeneously in the main building is derived from the Kiwari, wooden module of shrine and temple architecture, while the small-section structures of the room and fittings can be varied according to their functions. The presence or absence and opening/closing of fittings changes the character of the space, and appropriate environmental control is a technique with which we have long been familiar.

The semi-rigid joints of the columns and beams are complemented by the flexible structure of the central core, which has a tenacious seismic damping wall in the form of a lattice. The seismic isolation structure, inspired by the stone-based structure, and modern technology induced by traditional wooden construction, will be applied to wooden architecture once again.

Wooden materials, which gain their flavor with time, will be used in the permanent main building and in the renewal of the room decorations, changing their expressions in accordance with the times, and recycling of resources, such as reuse, will be achieved.

Based on this vision of the future, the realization of a timber skyscraper will not be a dream if each issue is resolved one by one.



Figure 5: Timberize 200

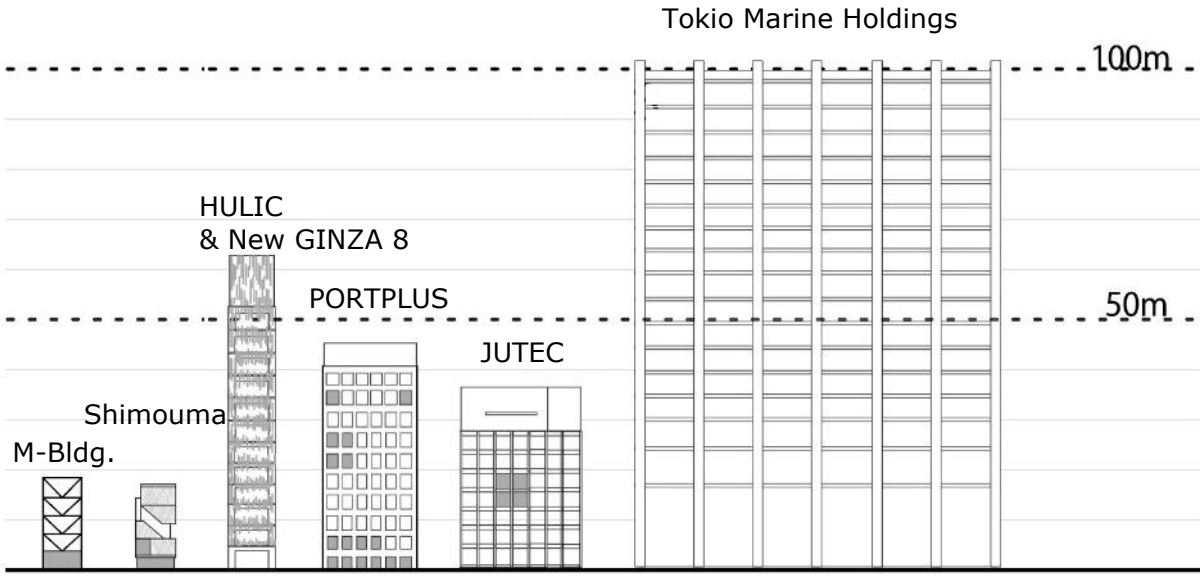


Figure 6: Height of urban wood construction in Japan

Stockholm Wood City – a vision for an entire neighbourhood in timber

Oskar Norelius
White arkitekter AB
Stockholm, Sweden



Stockholm Wood City – a vision for an entire neighbourhood in timber

1. Background

Stockholm Wood City extends over 250,000 square meters in Sickla, in the southern parts of Stockholm, and is thus the world's largest known urban construction project in wood. The new area houses additional 7,000 office spaces and 2,000 homes in a vibrant, urban environment. The first sod is planned to be turned in 2025 and the first buildings are expected to be completed in 2027. The ambitious project is being developed by Swedish urban developer Atrium Ljungberg. Through innovative design, technology and a strong collaborative culture, a new standard is to be set for sustainable construction.

Early 2023 we were invited by Atrium Ljungberg to develop a vision for the all timber neighbourhood, and outline the advantages and challenges of building in large scale with mass timber based on our previous experiences. The presentation outlines our way of working, the precedents and our vision for Stockholm Wood City.

1.1. Sickla

Sickla is located just south of central Stockholm. Formerly the site of Atlas Copco headquarters, a leading Swedish mining tools supplier, it was sold in the 1990's as the production moved. The site contains many historic buildings and traces of the historical production line. Atrium Ljungberg has developed the site from an industrial area into a over 20 years and it is today home to Sweden's third largest shopping centre, with over 180 shops and restaurants, right next to workplaces, homes, hotels, schools, preschools, health, culture and nature. Approximately 8,000 people already work here.

The area is approximately the size of Old Town in Stockholm and represents a unique opportunity to imagine a new well-connected neighbourhood. The extension of Stockholm's subway with a new station in Sickla will add to the existing connections through commuter train, tramway and buses and bring Sickla to only 7 minutes from Stockholm Central Station.



Figure 1: Map of Stockholm, Sweden. Dotted line outlnes Central Stockholm, continuous line outlines Sickla.

2. Precedents

2.1. White Arkitekter

White Arkitekter is one of Scandinavia's leading firms of architects. We work with sustainable architecture, design and city planning in an international context, for current and future generations. We are an employee-owned architect collective with close to 800 employees and a presence in Sweden, Norway, the UK, Germany, Canada and East Africa.

Our vision is for all our projects to be climate neutral by 2030, through design excellence. We are convinced that diversity and cross-disciplinary collaboration is key to solving today's challenges and achieving our vision. Since the employees own the company together, we have the opportunity to invest in what we believe in, both now and over the longer term. White Research Lab is where we conduct practice-based research and development, often in partnership with clients, the academic sector, industry colleagues, government authorities and civil society. In this way we build knowledge together, and jointly contribute to the development of the industry and our shared future.

2.2. R&D&I at the foundation of the vision for Stockholm Wood City

White Research Lab has focused on decarbonized construction for several years, and specifically timber construction. Through a series of architectural competitions in Sweden and abroad we have tested new applications for timber, developing new solutions together with structural engineers and sustainability specialists.



Figure 2: Competition proposal for Stora Enso HQ in Helsinki. The project redefined the timber grid using LVL.



Figure 3: Won competition in Riga, Latvia. The project develops solutions for mixed use mass timber construction in a heritage environment.



Figure 4: Competition proposal Vilnius, Lithuania. The project developed solutions to integrate greenery with mass timber construction.

2.3. Learnings from realized projects in mass timber

The Stockholm Wood City vision relies on our learnings from several large scale, mixed use projects in mass timber, mainly Sara Culture Centre, Magasin X and Nodi.

Sara Culture Centre in Skellefteå, Sweden is a 28.000sqm development combining a library, two art galleries, six theatre stages and concert halls with a 200 room hotel. The building was inaugurated in 2021 as the world's first 20 storey building in mass timber, designed with a structure of Glue and Cross laminated timber for walls, slabs, columns and even stabilizing cores. The innovative construction technique paired with a complex content and a situation right at the centre of town is a true challenge, but the project highlights several advantages of building with timber. Reconnecting new green solutions

with the timber heritage of the region, Sara and Skellefteå were named one of the Best Places in the World by Times Magazine. The building has received numerous awards, including the International Award for Wood Architecture in 2022, Best Culture Building at World Architecture Festival 2022 and Best Tall Building Europe at CTBUH Awards in 2023. It is currently featured at the Venice Biennale «Laboratory of the Future» and nominated for the EU Mies van de Rohe award 2024.



Figure 5: Sara Culture Centre, Skellefteå. Photo: Patrick Degerman



Figure 6: Magasin X, Uppsala. Photo: Måns Berg



Figure 7: Nodi, Gothenburg. Photo: Åke E:son Lindman

3. A vision for Stockholm Wood City

The vision for Stockholm Wood City relies on a series of strategies that will be developed in the presentation:

- An urban forest
- A 5-minute city
- A climate neutral and circular city
- Establishing a timber Innovation Hub



Figure 8: Stockholm Wood City, The Timber Innovation Hub.

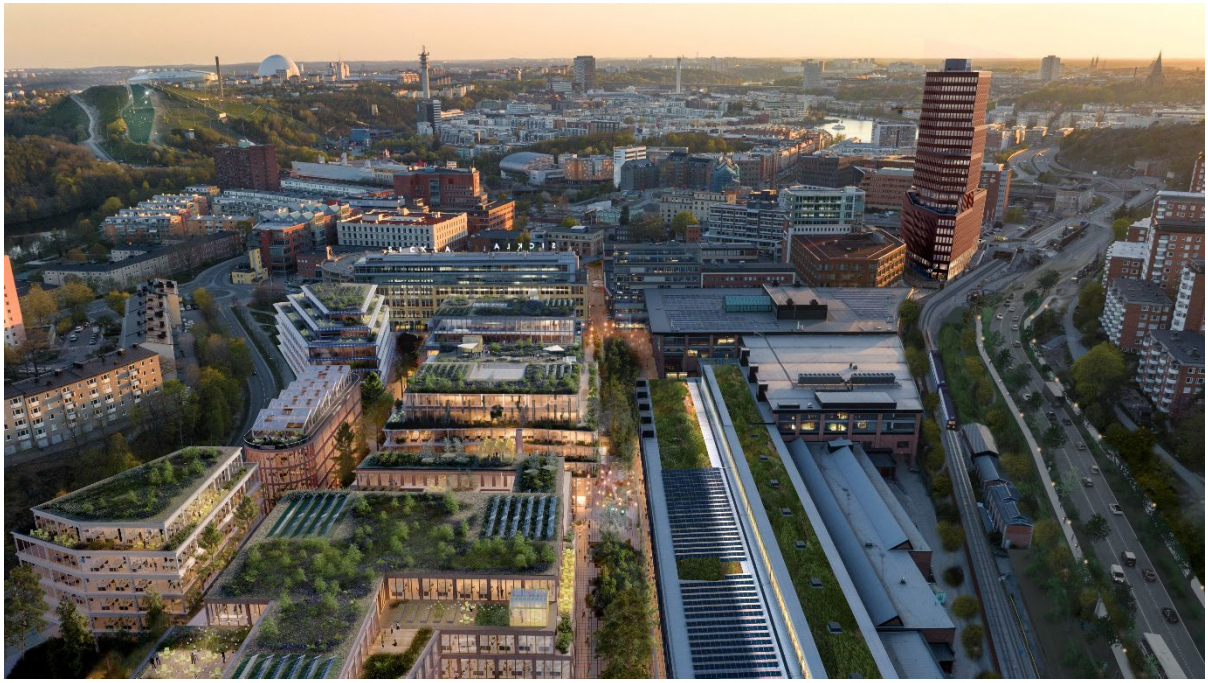


Figure 9: Stockholm Wood City, Overview.

Block D

TUM.wood – Abenteuer Forschung –
ein Diskussionsforum

ALLES AUS HOLZ

ROHSTOFF DER ZUKUNFT ODER KOMMENDE KRISE – Ansätze zu einer ausgewogenen Bioökonomie

Dr. habil Susanne Winter
Ökosystem und Ressourcenschutz/WWF
Berlin, Deutschland



Nina Griesshammer
Wald– und Umweltpolitik/Waldökologie
Frankfurt, Deutschland



Alles aus Holz

«Alles aus Holz« – Kurze Darstellung der Studie von WWF Deutschland und dem Center for Environmental Systems Research der Universität Kassel

1. Die leitende Frage, welche in der Studie beantwortet wurde, lautet: Können wir mit Holz zugleich und zunehmend Häuser bauen, Wärme- und Stromnetze betreiben, uns kleiden, unsere Waren verpacken und Kunststoffe ersetzen?

Nein! Denn Holz ist zwar ungemein vielseitig, aber nicht in einem Maße verfügbar, dass jede Form der Holznutzung zugleich machbar wäre, ohne dadurch die Wälder weltweit über ihre Belastungsgrenze hinaus zu beanspruchen.
Den Wäldern der Welt kann nicht ausreichend nachhaltig gewonnenes Holz entnommen werden, wenn die Wälder gleichzeitig auch Ökosystemleistungen und Klimawirkungen liefern sollen. Der Verbrauch ist global und insbesondere in Industrienationen wie Deutschland bereits heute zu hoch.
Es besteht die Herausforderung, das an Natur– und Klimaschutz gekoppelte Wohlergehen der Menschheit mit den Interessen der Gesellschaft sowie der Forstwirtschaft (Produktion von Holz im Wald) als auch der Holzwirtschaft (Produktion von holzbasierten Produkten) zu harmonisieren.

2. Womit müssen wir rechnen? Was sind die Messgrößen?

Die Studie zeigt erstmals, dass die derzeitige und angenommene zukünftige globale Holznachfrage das nachhaltige Holzangebot übersteigt. Neben der Umwandlung in landwirtschaftliche Nutzflächen wird die Entwaldung durch die Übernutzung der Wälder für Holz als erneuerbare Ressource beschleunigt.

Im Jahr 2020 war der weltweite Verbrauch mit **4,3 bis 5,0** Milliarden Kubikmetern Holz mit Rinde alarmierend hoch.

Nehmen wir den Biodiversitäts– und Klimaschutz (Pariser Klimaabkommen, Glasgow Declaration[1]) ernst, dann können wir weltweit und nachhaltig **rund 3,0** Milliarden Kubikmeter Holz mit Rinde ernten.

Schon mit deutlichen Einschränkungen bei der Nachhaltigkeit für Wirtschaftswälder und Klima könnten **maximal 4,2** Milliarden Kubikmeter Holz mit Rinde geerntet werden (Nutzung von 80 Prozent des Zuwachses der Wälder und 100 Prozent der Plantagen). Dies wird als Hochrisikogrenze der Nachhaltigkeit bezeichnet. Es handelt sich dabei um eine rein mengenbezogene Grenze, die sich in erster Linie auf die Erhaltung des Holzvorrats durch einen hinlänglichen Nährstoffkreislauf konzentriert und nicht auf den Erhalt der Biologischen Vielfalt und Leistungen, die stabile, resiliente Waldökosysteme bieten können.

[1] https://www.oneplanetnetwork.org/programmes/sustainable-tourism/glasgow-declaration

Der Vergleich des Holzverbrauchs mit dem Holzangebot zeigt also, dass der Verbrauch längst die Hochrisikogrenze überschreitet und **bereits heute nicht nachhaltig** ist.

Die planetaren Grenzen nachhaltiger Holznutzung werden schon heute um drei Prozent (Hochrisikogrenze) bis 67 Prozent (Niedrigrisikogrenze) überschritten. Die Übernutzung der Wälder wächst mit der global zunehmenden Nachfrage – insbesondere von Ländern mit bereits hohem Konsumniveau – rasch weiter an.

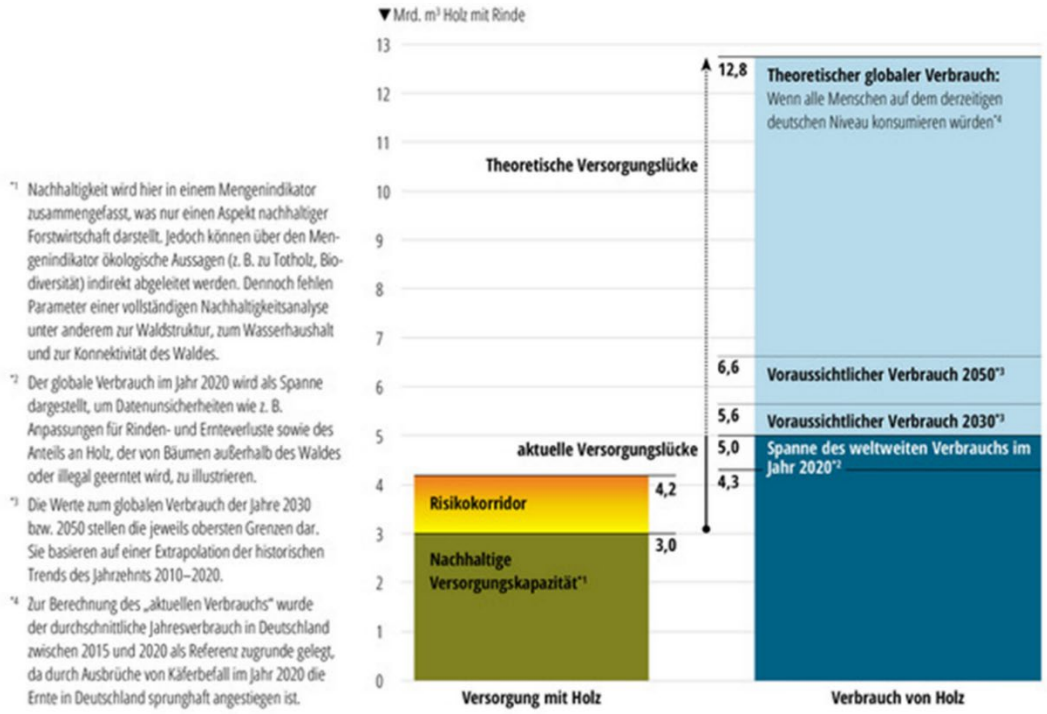


Abbildung 1 Die planetare Grenze des globalen Holzverbrauchs: Vergleich der nachhaltigen Versorgungskapazität mit dem Verbrauchsniveau

Links: Nachhaltige Holzversorgung (grün) aus dem Wirtschaftswald mit abnehmender Nachhaltigkeit im gelb–orangen Risikokorridor
Rechts: dunkelblau in Blautönen

Das aktuelle Verbrauchsniveau – Eine Gefahr für uns und unsere Wälder weltweit!

Das Verbrauchsniveau in Deutschland (Pro–Kopf–Verbrauch in Bezug zur Bevölkerungsgröße mit ca. 1,6 Kubikmetern mit Rinde im Jahr 2021) ist mehr als doppelt so hoch wie der weltweite Durchschnitt (ca. 0,6 Kubikmeter mit Rinde pro Person im Jahr 2021). Deutschland steht beispielhaft für Hochkonsumländer.

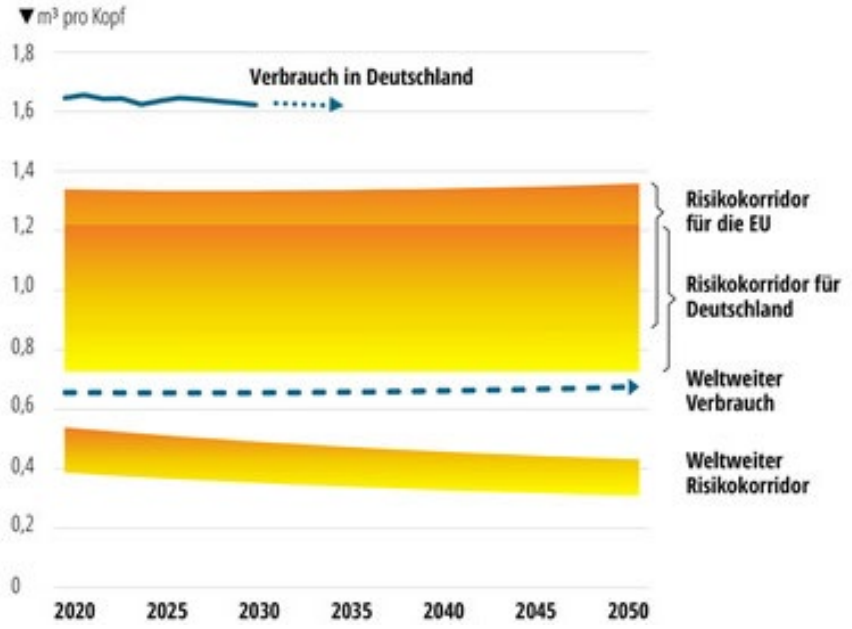


Abbildung 2: Pro-Kopf-Risikokorridor (global, EU und Deutschland) im Vergleich zur Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs (global, 2020–2050 und Deutschland, 2020–2035

Anmerkung: Der Verbrauch ist in m³ mit Rinde angegeben. Die Verbrauchswerte enthalten sowohl die Umwandlungsfaktoren *Rinde* (+12%) als auch *Ernteverluste* (+10%). Die globale Ebene stellt nur die obere Grenze des Verbrauchskorridors dar.

Obwohl Deutschland über relativ große Waldressourcen verfügt, importiert unser Land Holz, um seine derzeitige Nachfrage zu decken und damit ausreichend Holz für die große inländische Holzindustrie und für deren Exporte zur Verfügung steht.

In allen in der Studie betrachteten Branchen (Energie, Bauen, Biokunststoffe, Textilien, Chemie) steigt der Holzverbrauch an. **Der weltweite Verbrauch könnte bis 2050 um mindestens 28 Prozent steigen.** Das ist das Ergebnis, wenn wir den Verbrauchstrend der Jahre 2010 bis 2020 linear extrapolieren. Aber lässt sich das Angebot an Holz langfristig entsprechend erweitern? Zur Beantwortung dieser Frage haben wir vereinfachte «Was–wäre–wenn»–Szenarien entwickelt, wie und was die Holzversorgung – nicht zwangsläufig unter vollständiger Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien – beeinflussen könnte.

Keine (!) unserer «Was–wäre–wenn»–Betrachtungen, wie Stopp der Entwaldung, Umsetzung der Bonn Challenge und New York Declaration on Forests zur Wiederherstellung von Waldlandschaften, Ausweitung von Aufforstungs– und Plantagenflächen, lässt realistische Möglichkeiten erkennen, wie man das nachhaltige Holzangebot auf das Niveau der Nachfrage heben könnte. Nicht einmal von der Substanz lebende nicht–nachhaltige Wirtschaftsweisen, wie eine nicht–nachhaltige Ausweitung der für die Holzversorgung verfügbaren Waldflächen in heute unbeeinflusste Primärwälder hinein, würde die Nachfrage bedienen können. Also bedarf es dringend einem Umdenken und neuer Ansätze.

3. Welchen Weg sollten wir somit einschlagen?

Ein verringerter Verbrauch ist der Königsweg, um die verbleibenden Wälder zu erhalten und um zu versuchen, die globale Lücke zwischen Nachfrage und nach–haltigem Holzangebot zu schließen.
Der WWF fordert: Bis 2030 müssen nicht–nachhaltige Konsummuster überwunden werden. Zudem sollten alle Menschen den Wert Biologischer Vielfalt begreifen, anerkennen und wertschätzen. Diese Verfasstheit wird es ihnen möglich machen, verantwortungsvolle Entscheidungen nachzuvollziehen, mitzutragen und zu treffen, sodass die Biologische Vielfalt und das Klima dauerhaft den nötigen Schutz für unser eigenes Wohlergehen erhalten.
Die Studie «Alles aus Holz – Rohstoff der Zukunft oder kommende Krise – Ansätze zu einer ausgewogenen Bioökonomie» ist ein Warnsignal. Und sie fordert politische Entscheider:innen, Industrie und Gesellschaft zum Handeln auf. Sie alle müssen sich angesichts des notwendigen Erhalts der Wälder mit ihrem hohen Holzverbrauch befassen. Es ist an

der Zeit, einen Diskurs zu führen, für was und wie Holz in einer ausgewogenen Bioökonomie am besten genutzt werden sollte.

Wir haben sechs Schlüsselbotschaften für politische Entscheidungsträger:innen entwickelt:

1. Prioritäten bei der Holznutzung setzen:
   a. Förderung einer Holzverwendung, die langfristig nachhaltige Versorgungskapazitäten im Blick hat,
   b. Kreislaufwirtschaft und Nutzungskaskaden sind geeignete Systeme nachhaltiger Holznutzung, die auf ihren Einsatz warten.
2. Umweltkriminalität/illegalen Holzeinschlag und -handel effektiv bekämpfen.
3. Waldbewirtschaftung muss gesunde, resiliente, natürliche Wälder zum Ziel haben.
4. Holz–Verbrauch (Fußabdrücke) messen, monitoren und bewerten.
5. Richtwerte (Benchmarks) zum Grad der Nutzung festlegen, um den Holzverbrauch innerhalb der planetaren Grenzen zu halten und die Resilienz des einzelnen Waldes und der Wälder weltweit zu stärken. In Benchmarks und Fußabdruck–Forschung investieren.
6. Einführen von Fußabdrücken der Holznutzung in den Nachhaltigkeitsbetrachtungen auf nationaler, EU– und globaler Ebene, um mit veränderten politischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen zu reagieren. Denn es ist höchste Zeit, politischen Entscheidungsträger:innen solide Berechnungen und Erkenntnisse an die Hand zu geben, damit integrierte und branchenübergreifende Strategien entwickelt werden können.

Exkurs – Holz als Baustoff

Der Ressourcenbedarf für den Bausektor ist immens und muss deutlich reduziert werden. Die Bau- und Gebäudenutzung sind nicht nur in Deutschland für rund 30% der gesamten Emissionen verantwortlich.

Deshalb sehen viele Holz als die Ressource der Zukunft für die Ökologisierung der Bauindustrie. Der Enthusiasmus rührt zum Teil von neuen Holzwerkstoffen mit strukturellen Eigenschaften, die es Holz ermöglichen, Stahl und Beton zu ersetzen – sogar im Hochbau – und zwar in einer Weise, die noch vor wenigen Jahren nicht möglich war.

Das Potenzial von Holz für die Vorfertigung und modulare Bauweise – das sowohl die Abfallmenge vor Ort erheblich reduziert als auch eine spätere Wiederverwendung ermöglicht – ist ebenfalls vielversprechend. Recycelbare Architektur ist im Kommen. Dies bedeutet, dass die Planung für mehr Wiederverwendung und ressourceneffizientes Bauen in einer Art und Weise, die den sich mit der Zeit ändernden Bedürfnissen Rechnung trägt. Initiativen, die bei der Planung und Vorfertigung der Baumodule auf optimale Ausnutzung des Materials und maximal Ressourceneinsparung achten, sind am Wachsen.

Dies stimmt optimistisch – doch ist Vorsicht geboten, denn die CO_2–Bilanz beim Bauen mit Holz und die Gesamtbilanz geben den Maßstab vor.

Zwei Aspekte:
1) Würden wir in Deutschland alle Gebäude mit Holz bauen, würde kaum mehr inländisches Holz für die anderen Sektoren zur Verfügung stehen.

2) Die Verringerung der CO_2–Emissionen durch die Verwendung von Holz im Bauwesen ist ein Schwerpunkt der diskutierten Umweltvorteile. Allerdings ist hier Vorsicht geboten. Es ist möglich, CO_2–Emissionen einzusparen, wenn man einzelne Gebäude vergleicht und Stahl und Beton durch Holz ersetzt werden. Das gilt, aber nicht für jede Bauweise. Die Substitution in großem Maßstab erfordert zudem möglicherweise mehr Holz, als nachhaltig geerntet werden kann. Das führt zu einem Anstieg der Emissionen durch Wald–Fragmentierung, –Degradierung und Entwaldung. Dies wäre der Fall, wenn der Holzverbrauch nicht dem nachhaltigen Benchmark entsprechen und aus einer nicht–nachhaltigen Waldwirtschaft entstammen würde.

Die Zukunft der Holznutzung

Aktive Bewirtschaftung sichert Walderhalt und Klimaschutz

Johannes Schmitt
Deutscher Forstwirtschaftsrat (DFWR)
Berlin, Deutschland



Die Zukunft der Holznutzung

Aktive Bewirtschaftung sichert Walderhalt und Klimaschutz

1. Der Deutsche Forstwirtschaftsrat e. V.

Der Deutsche Forstwirtschaftsrat (DFWR) ist die Vertretung aller mit der Forstwirtschaft und dem Wald befassten Akteure in der Bundesrepublik Deutschland und setzt sich für die Erhaltung und Pflege des Waldes zur Erfüllung seiner vielfältigen Funktionen sowie für die Interessen und Belange einer nachhaltigen Forstwirtschaft ein. Die Mitgliedsorganisationen des DFWR vertreten den Privat-, Staats- und Körperschaftswald mit etwa zwei Millionen privaten und öffentlichen Waldbesitzenden, die mit der Forstwirtschaft verbundenen berufsständischen Verbände, forstliche Forschungseinrichtungen und weitere mit der Erhaltung und Förderung des Waldes und der Forstwirtschaft befasste Organisationen.

2. Ziele und Aufgaben des DFWR

- Vertretung der gemeinsamen Belange der deutschen Forstwirtschaft
- Förderung nationaler und internationaler Zusammenarbeit
- aktive Öffentlichkeitsarbeit
- Einsatz für:
  - verlässliche forstpolitische Rahmenbedingungen
  - nachhaltige Bewirtschaftung zur Erhaltung des Waldes und seiner Funktionen
  - Gleichberechtigung von Nutz-, Schutz- und Erholungsleistungen des Waldes
  - Erhalt und ausreichende Mittelausstattung etablierter Förderungsmechanismen
- Stärkung heimischer Rohstoffverwendung zur Förderung der Forstbetriebe und Entwicklung ländlicher Räume

3. Cluster Forst und Holz in Deutschland

Unsere Wälder mit ihrem nachwachsenden Rohstoff Holz und seiner hervorragenden Ökobilanz sind unverzichtbar für den Klimaschutz. Die nachhaltige Bewirtschaftung unserer Wälder und die damit verbundene Nutzung heimischen Holzes tragen jedoch nicht nur zur Erreichung unserer nationalen Klimaziele bei. Sie leisten auch einen großen Beitrag zur globalen Nachhaltigkeit und dem Erhalt der Biodiversität auf unserem Planten. Holz wird in Deutschland unter Einhaltung höchster gesetzlicher Standards – sowohl ökologisch wie auch im Arbeits- und Gesundheitsschutz – gewonnen. Zusätzlich sind rund 80 % der deutschen Wälder mit Nachhaltigkeitszertifikaten ausgezeichnet. Weltweit sind es lediglich 11 Prozent bei oft weniger strengen Kriterien.

Der Cluster Wald und Holz ist ein bedeutender Wirtschaftsfaktor. Dieser bildet insbesondere im ländlichen Raum das Rückgrat für sichere Arbeitsplätze in Familienunternehmen: In dieser Wertschöpfungskette arbeiten in Deutschland über 1 Millionen Beschäftigte. Die deutsche Forst- und Holzwirtschaft ist mit 128.000 Betrieben bei einem Jahresumsatz von 187 Milliarden Euro eine tragende Säule des Mittelstandes. Regionale Wertschöpfungsketten verbessern zudem den ökologischen Fußabdruck.

4. Bedeutung der Forstwirtschaft für den Klimaschutz

«Wenn Politik und Gesellschaft nachhaltigen Klimaschutz betreiben und biologische Vielfalt erhalten wollen, dann braucht es zukunftsfähige Wälder. Damit führt kein Weg an Waldbau, Waldumbau und Waldneugestaltung vorbei. **Aktive Bewirtschaftung sichert Walderhalt und Klimaschutz**», mit diesen Worten eröffnete DFWR-Präsident Georg

Schirmbeck die 73. DFWR-Jahrestagung in Schleswig-Holstein mit rund 150 führenden Vertretern aus Politik, Forst- und Holzwirtschaft in diesem Jahr.

Die klimawandelbedingten Waldschäden der letzten Jahre treffen nicht nur Deutschland, sie treffen viele Regionen und Länder Europas ins Mark. Unter den Waldschäden leiden nicht nur Fichten und andere Nadelbäume, sondern zunehmend auch bisher als klimastabil eingeschätzte heimische Laubbäume, wie Buchen und Eichen. Der Waldbesitz – oftmals durch geprägt von Klein- und Kleinststrukturen – hat allein in den Jahren 2018 bis 2022 Schäden in Höhe von 15 Milliarden Euro erlitten. Für die drei kommenden Jahrzehnte schätzt das Thünen-Institut das benötigte Investitionsvolumen auf bis zu 43 Mrd. Euro. Die Waldbesitzenden brauchen gerade jetzt Motivation, um in die Zukunft zu investieren und Forstleute benötigen gesellschaftliche Wertschätzung ihren tagtäglichen leidenschaftlichen und fachfundierten Einsatz.

Auf einen sich dynamisch entwickelnden Klimawandel braucht es als Antwort eine dynamische Forstwirtschaft mit verlässlichen Rahmenbedingungen. Denn unsere Wälder und der nachhaltig heimisch produzierte nachwachsende Rohstoff Holz sind eine der wichtigsten Schlüsselfaktoren zur Lösung der Herausforderungen des Klimawandels. Der klimaresiliente Umbau unserer Wälder, die Wiederbewaldung der Freiflächen und die Stärkung nachhaltiger Holznutzung – insbesondere für das Bauen der Zukunft – sind Mammutaufgaben. Doch Deutschland wie auch weitere waldreiche EU-Mitglieder besitzen das Potential und die international anerkannte forstwissenschaftliche Expertise sowie das praktische Können, um diese Chancen zu nutzen.



Abbildung 1: Eröffnung der Grünen Woche 2023

Die Bürgerinnen und Bürger schätzen die Lebensqualität in waldnahen Städten, Spaziergänge und Urlaube in waldreicher Kulisse. Sie nutzen «ihren» Wald in besonderem Maße für Erholung, als Rohstofflieferant für das eigenen Haus, den heimischen Parkettboden, die Küchenrolle, den Briefbogen und als lokale Bezugsquelle für klimafreundliche Energie. Brennholz wie auch kommunale Holzheizwerke für örtliche Nahwärmenetze haben nicht nur eine lange Tradition, sie sind zukunftszugewandt und tragen als wichtige Elemente zur Versorgungssicherheit der Bürgerinnen und Bürger im ländlichen Raum bei. In der Kreislaufwirtschaft ist die energetische Verwertung von Holz das Endstück jeder nachhaltigen Nutzung oder wenn stoffliche Alternativen fehlen. Dies gilt es anzuerkennen.

Die 9. Legislaturperiode des Europäischen Parlaments ist geprägt von geopolitischen Krisen und großen Ambitionen beim Klima- und Biodiversitätsschutz (Green Deal). Letzteres zeichnet sich zunehmend durch enorme Auswirkungen auf Waldpolitik und forstliche Praxis aus. Derzeit birgt der Entwurf zum Nature Restoration Law (Wiederherstellung der Natur) weitreichende Folgen für die Forstwirtschaft mit erheblichen Einschränkungen in der Nutzung, im aktiven Waldumbau bis hin zur Stilllegung. Nach intensiven Diskussionen wurde der Änderungsentwurfs vom Europäischen Parlament mit knapper Mehrheit am 12. Juli 2023 angenommen. Dies ist vor dem Hintergrund der vorangegangenen Ablehnung durch die drei zuständigen Ausschüsse des Europäischen Parlaments (Landwirtschaft, Fischerei und Umwelt) bemerkenswert. Im Sommer haben die Trilogverhandlungen begonnen. Laut Entwurf sollen 20 % der wiederherzustellenden Ökosysteme bis 2030 renaturiert werden, wobei für die in Anhang 1 aufgeführten Lebensraumtypen der FFH-

Richtlinie (z.B. 9110 Hainsimsen-Buchenwald) die Wiederherstellungspflicht gilt. Einen weiteren Baustein sollen Indikatoren darstellen, welche die biologische Vielfalt von Waldökosystemen bemessen. Bei diesen anzuwendenden Maßnahmen wird vielfach die wichtige Rolle der nachhaltigen Bewirtschaftung von Wäldern für den Klimaschutz vollständig vernachlässigt. **Nicht Konservierung, sondern aktiver Waldbau und lokale Flexibilität sind das Gebot der Stunde!**

Zudem beschäftigt den Waldbesitz derzeit die Umsetzung der EU-Verordnung zur Vermeidung von Entwaldung (EUDR). Die EUDR verbietet das Inverkehrbringen von Produkten, die mit Entwaldung und Walddegradierung in Zusammenhang stehen und stellt Sorgfaltspflichten an die Rückverfolgbarkeit von Produkten – das betrifft auch Holz aus forstlicher Nutzung in Europa. Aus Sicht des Waldbesitzes in Deutschland birgt die Umsetzung in nationales Recht gewaltige bürokratische Hürden, die beispielsweise aufgrund bereits bestehender Waldgesetze, flächendeckend funktionierender Forstverwaltungen und einem hohen Grad an freiwilliger Zertifizierung vielfach unnötig und überborden erscheinen.

5. Nutzung und Schutz der Natur sachorientiert zusammendenken

Die organisierte Forstwirtschaft in der Vergangenheit immer großen Wert daraufgelegt, dass forstpolitische Entscheidungen auf forstwissenschaftlicher Basis getroffen werden. Wir erwarten von den europäischen Institutionen wie auch auf Ebene der Nationalstaaten verlässliche Kooperationen zur forstlichen Praxis, zur Forschung, zum Eigentum sowie politisches Vertrauen. Klimaschutz und Biodiversitätsschutz müssen zusammengedacht werden und es gilt die gesellschaftliche Bedeutung einer nachhaltigen regionalen Holznutzung anzuerkennen. Im Frühjahr steht mit den Wahlen zum Europäischen Parlament eine Weichenstellung für die Bürger und damit auch für die Waldbesitzer in Europa an. Es ist für die Zukunft der Forst- Holzpolitik von entscheidender Bedeutung, dass alle Akteure für unsere gemeinsamen Belange – erfolgreicher und akzeptierter Klimaschutz, Erhalt der Biodiversität, Stärkung der Bioökonomie – zusammen-arbeiten. Seien Sie herzlich eingeladen, den *Branchenstand der deutschen Forstwirtschaft* auf der **Grünen Woche 2024** in Berlin (19.-28. Januar) zu besuchen und den Dialog für Wald und Holz fortzusetzen.



Abbildung 2: 73. DFWR-Jahrestagung auf Gut Emkendorf 2023

Rohholzaufkommen in Deutschland – Schwerpunkt Laubholz

Prof. Dr. Andreas Bolte
Thünen-Institut für Waldökosysteme
Eberswalde, Deutschland



Rohholzaufkommen in Deutschland – Schwerpunkt Laubholz

1. Einleitung

Deutsche Wälder haben hohe Holzvorräte. Laut den Ergebnissen der letzten deutschlandweiten Waldinventur 2017 belief sich der Derbholzvorrat (Bäume > 7cm im Durchmesser in 1,3 Metern Höhe) auf 3,9 Milliarden Kubikmeter. Das ist der Spitzenplatz in der Europäischen Union. Ein weiterer Trend ist die Zunahme von Laubbäumen wie Buche und Eiche in deutschen Wäldern, wobei im Jahr 2017 Nadelbaumarten, dabei insbesondere die Fichte, immer noch 55 Prozent Anteil an der Waldfläche besitzen (Hennig et al. 2019).

Die Wälder in Deutschland leiden unter den Folgen des Klimawandels und der damit verbundenen Extremereignisse. Die extremen Hitze- und Trockenjahren 2018 bis 2020 und 2022, der daraus resultierende Schaderregerbefall haben zur bisher größten Absterbedynamik in den Wäldern Deutschlands geführt. Etwas 500.000 ha besonders fichtendominierte Wälder sind mittlerweile flächig abgestorben und müssen wiederbewaldet werden (BMEL 2023). Neben der Fichte, sind auch Kiefer und mittlerweile auch die Buche in vielen Regionen von Schäden betroffen. Um die Wälder zukünftig anpassungsfähiger zu gestalten, sehen aktuelle Förderrichtlinien die Umgestaltung von Reinbeständen mit Fichte und Kiefer in gemischte Wälder mit einem höheren Laubbaumanteil vor. Gleichzeitig sollen besonders in alten, naturnahen Buchenwäldern durch Nutzungsverzichte und extensiverer Nutzung von Laub- und Mischwäldern der Kohlenstoffspeicher in Wäldern erhöht werden (Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz; Bolte et al. 2022).

Was bedeutet die aktuelle Wald(schadens)dynamik und die politischen Vorgaben und Anreize für die zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten von Rohholz in Deutschland? Welche Nutzungsoptionen stellen sich insbesondere für das Laubholz dar?

2. Einfluss von Waldschäden auf das Holzaufkommen

Hitze, Trockenheit und Schaderregerbefall, insbesondere von Fichtenborkenkäfern (Buchdrucker und Kupferstecher), haben in Deutschland zu einer bisher nie gekannten Absterbedynamik in den Wäldern geführt. Seit der Wiedervereinigung 1990 lagen laut der Ergebnisse der Waldzustandserhebung (WZE) die Absterberaten der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und der Eichenarten bis 2017 weit überwiegend unter 0,5%, seit 2018 ist ein sprunghafter Anstieg aller Baumarten außer der Eichenarten zu verzeichnen (Abbildung 1). Dabei erreichte die Fichte sowohl in 2020 als auch 2022 einen Spitzenwert von über 4%, aber auch Kiefer und Buche zeigen ein deutlich erhöhtes Absterben (Thünen-Institut 2023).

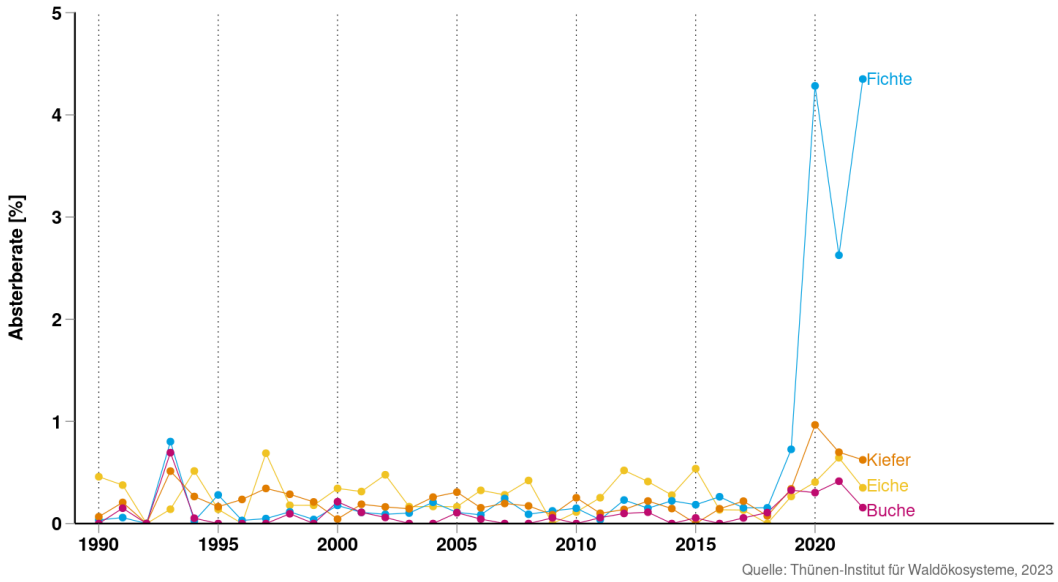


Abbildung 1: Absterberate der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und der Eichenarten seit 1990 aus Daten der bundesweiten Waldzustandserhebung (WZE, Thünen-Institut 2023; https://blumwald.thuenen.de/wze/aktuelle-ergebnisse-der-wze).

Durch Waldschäden bedingt hohe Anteile des Holzeinschlags am Gesamteinschlag von über 50% waren bis zum Jahr 2017 ausschließlich durch starke Winterorkane wie Vivian/ Wiebke 1991, Lothar (1999), Kyrill (2007), Niklas (2015) und zuletzt Friederike (2018) zu beobachten (Abbildung 2, rechts). Diese Schäden führten punktuell zu hohem schadbedingten Holzaufkommen. Seit 2018 ist eine stark geänderte Dynamik der schadbedingten Holzeinschläge zu beobachten, der zu mehrjährig durch Insektenschäden erhöhten Holzeinschlägen geführt hat. Besonders durch Borkenkäferschäden (Buchdrucker, Kupferstecher) an Fichte verursachte Schäden führten zu Rekordwerten beim schadbedingten Holzeinschlag von 75% (60 Mio. m³) im Jahr 2020 und mehrjährig hohe schadbedingten Einschlagsanteilen Schadanteile von 50% und mehr in den Jahren 2019 bis 2022 zu verzeichnen waren. Die Waldschäden sind auch der Treiber hoher Gesamtholzeinschläge in den letzten Jahren, die im Jahr 2021 eine Rekordhöhe von 83 Mio. m³ erreicht haben (Daten nach Destatis 2023, Abbildung 2, rechts).

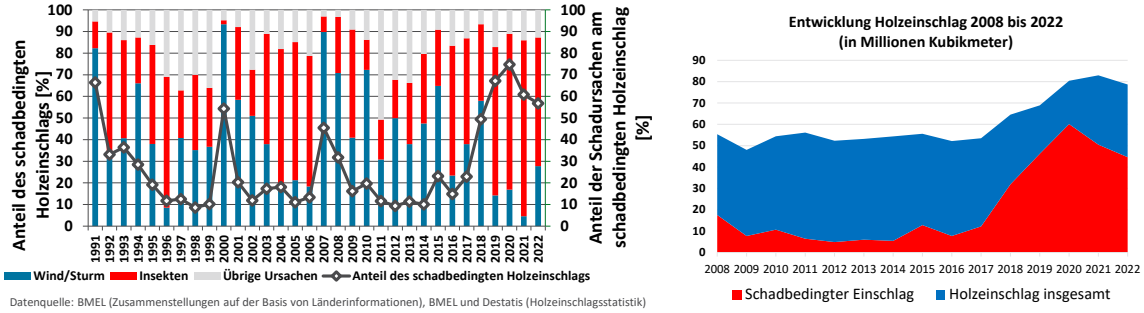


Abbildung 2: Anteil von schadbedingten Holznutzungen (schwarze Linie) und deren Ursachen (farbige Balken) am Gesamteinschlag 1991 bis 2022 (links); Gesamt-Holzeinschlag und schadbedingter Holzeinschlag von 2008 bis 2022 (rechts, Quelle: Destatis 2023); Bezug: Gesamtholzeinschlag in Deutschland.

Das langjährige Mittel des schadbedingten Holzeinschlags am Gesamteinschlag lag von 1991 bis 2017 bei 22%, in den Jahren 2018 bis 2022 hat sich der mittlere Schadholzanteil mit mehr als 60% fast verdreifacht. Angesichts der zunehmenden Verschärfung des Extremwitterung und Wetterlagen kann daher konservativ ein zukünftiger Schadholzanteil von mindestens 40% geschätzt werden. Zusätzlich vermindert sich der Holzzuwachs der Wälder in Deutschland. Allein durch den fehlenden Zuwachs der abgestorbenen Waldbestände ist für 2018 bis 2020 ein Zuwachsrückgang von 4 Mio. m³ pro Jahr abzuschätzen, die Zuwachsrückgänge der verbleibenden Bestände sind hier noch nicht berücksichtigt. Realistisch kann mit einem langfristigen Rückgang von mindestens 10% der Zuwachsleistung (ca. 10 Mio. m³ pro Jahr) gerechnet werden.

3. Auswirkungen von Waldanpassung und natürlichen Klimaschutzmaßnahmen

Aus den Erfahrungen der Trockenperiode 2018 bis 2020 lässt sich ein zukünftig erhöhtes Absterbe-Risiko von Beständen mit dominierender Fichte im Tiefland und unteren Berglandlagen unter 600 m ü. NN sowie mit dominierender Buche auf trockeneren Standorten vermuten. Diese Risikofläche umfasst mit 2,85 Mio. ha ca. 25% der Waldfläche in Deutschland und bedeutet ca. 100.000 ha Waldumbaufläche pro Jahr in Laub- und Mischwälder bis 2050 und Gesamtkosten von 14 bis 43 Milliarden Euro (Bolte et al. 2021). Damit verbunden wäre ein zunehmender Abbau des Fichtenvorrats und damit perspektivisch des Holzaufkommens von Fichtenholz, während der Vorratsaufbau in den zukünftigen Laub- und Mischwäldern innerhalb der nächsten 20 bis 30 Jahren noch gering bleibt.
Zusätzlich bereitet die Bundesregierung Maßnahmen zum natürlichen Klimaschutz im Rahmen des Aktionsplans Natürlicher Klimaschutz (ANK) vor, die unter anderem den Nutzungsverzicht in alten, naturnahen Buchenwäldern im öffentlichen Besitz vorsieht, um die Kohlenstoffspeicherfunktion in der Biomasse dieser Wälder für den Klimaschutz zu nutzen (Bolte et al. 2022). Definiert man diese Wälder als Buchenbestände mit einem Mindestalter von 140 Jahren und einem Mindestgrundflächenanteil von 75%, dann wachsen diese bundesweit auf einer Fläche von 137.000 ha und liefern eine CO_2-Speicherleistung von 1,9 Mio. t pro Jahr (Bolte et al. 2022). Dies kompensiert ca 0,3% der deutschen Treibhausgas-Emissionen des Jahres 2022 (746 Mio t. CO_2-Äqu., UBA 2023) und vermindert das potenzielle Rohholz-Aufkommen um 2,4 Mio. m³ (EFm, Tabelle 1). Weitere naturschutzfachliche Forderungen nach Extensivierungen der Nutzung in naturnahen Laub- und Mischwäldern (EU-Biodiversitätsstrategie, Managementpläne in FFH-Gebiete, Nationale Biodiversitätsstrategie) dürften insbesondere das zukünftige Laubholzaufkommen weiter senken.

Tabelle 1: Vorrat, Zuwachs, Nutzung und Rohholzpotenzial alter, naturnaher Buchenwälder (mind. 75% Grundflächenanteil Buche) mit den Altersschwellen 120, 140 und 160 Jahre. Auswertungen der Bundeswaldinventur 2012 und der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) nach Bolte et al. 2021.

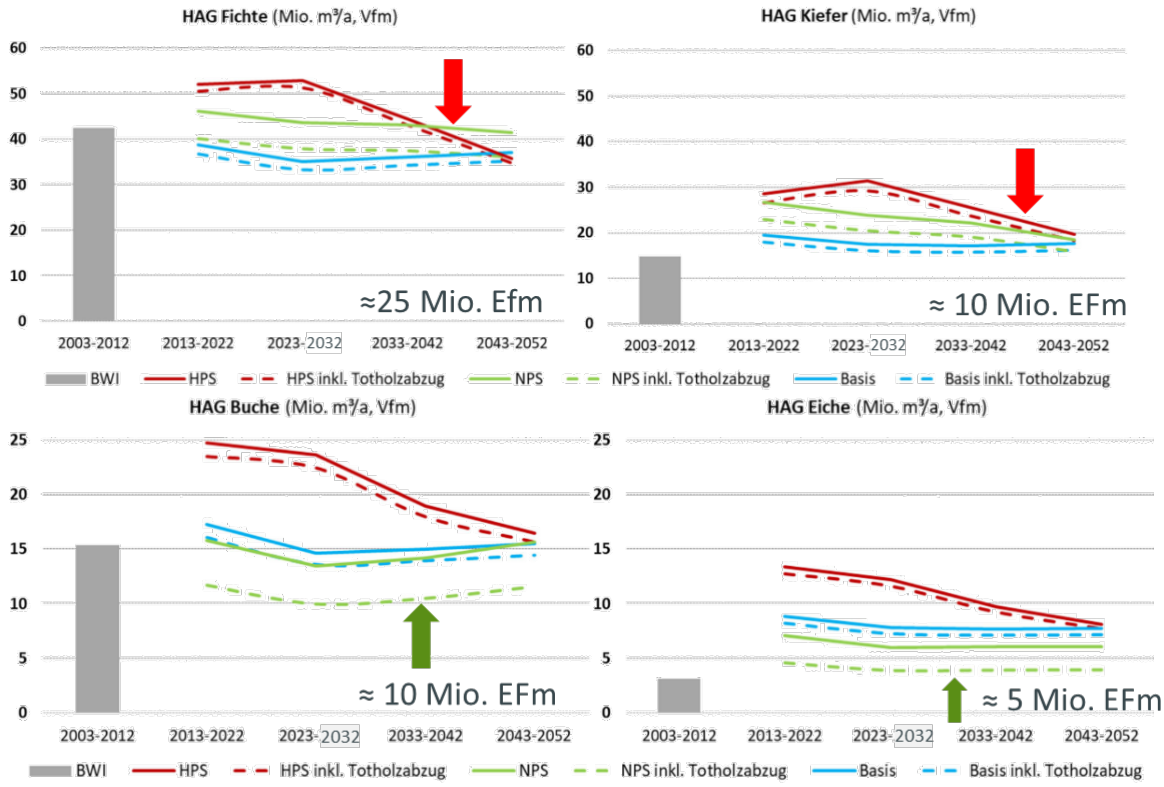
	Einheit	>120 Jahre	>140 Jahre	>160 Jahre
Vorrat				
Gesamt	[Mio. m^3]	159,37	94,37	51,45
Pro Hektar	[m^3 ha^{-1}]	429	425	444
Zuwachs (VFm)				
Gesamt	[Mio. m^3 a^{-1}]	2,61	1,36	0,76
Pro Hektar	[m^3 $ha^{-1}a^{-1}$]	7,2	6,7	6,6
Nutzung (EFm)				
Gesamt	[Mio. m^3 a^{-1}]	2,51	1,33	0,67
Pro Hektar	[m^3 $ha^{-1}a^{-1}$]	7,0	5,5	4,2
Rohholzpotenzial (EFm)				
Gesamt	[Mio. m^3 a^{-1}]	3,41	2,41	1,36
Pro Hektar	[m^3 $ha^{-1}a^{-1}$]	8,7	9,1	9,6

4. Tendenzen des zukünftigen Rohholzaufkommens

Die Holznutzungstendenzen der nächsten Jahre aufgrund der Schadsituation, der zukünftiger Waldumgestaltung und verschärfter Klima- und Naturschutzvorgaben ähneln den Annahmen der alternativen Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) auf Basis der Bundeswaldinventur 2012 (Abbildung 3, Oehmichen et al. 2017), ohne diese vollständig zu erfüllen:

- **Fichte/Kiefer:** Unfreiwilliges (Schad-)**Holzpräferenzszenario** (**HPS**, Abbildung 4) beim Nadelholz (insbesondere Fichte!) aufgrund sinkender Nadelbaumanteile durch Waldschäden, Waldumbau und ungünstige Altersklassenverteilung.
- **Buche/Eiche:** Keine «Laubholzschwemme» trotz steigender Waldanteile wegen zunehmender Extensivierung und Nutzungsaufgabe (**Naturschutz-Präferenzszenario**, **NPS**, Abbildung 4)

Kombiniert man diese Teile der jeweiligen Szenarien bleibt im Ergebnis das projizierte Holzaufkommen bis in die 2030er Jahre auf hohem Niveau und beginnt erst danach stark abzusinken, da dann die sinnvoll ausschöpfbaren Nadelholzpotenziale in dem entsprechenden Szenario zurückgehen. Bis 2050 sinkt das Aufkommen auf ca. 50 Mio. Erntefestmeter (Efm), was ca. 60% des heutigen Aufkommens entspricht. Durch die angesprochenen klimawandelbedingten Zuwachseinbußen und steigende Absterberaten ist ein weiterer Abschlag auf ca. 50% des heutigen Holzaufkommens in 2050 (40 Mio. Efm) realistisch. Zusätzlich sind hohe Schadholzanteile von 40% und mehr zu erwarten, sodass nur ca. 25 Mio. Efm Frischholz zu erwarten ist. Die perspektivisch starke Abnahme des Nadelholzaufkommens wird nicht kompensiert durch ein entsprechend steigendes Laubholzaufkommen, das bei ca. 15 Mio. m³ (VFm) bzw. ca. 12 Mio. m³ (EFm) stagnieren könnte.



Quelle: Oehmichen et al. (2017), eigene Schätzungen

Abbildung 3: Tendenzen des zukünftigen Rohholzaufkommens der Holzartengruppen (HAG) Fichte, Kiefer, Buche und Eiche anhand verschiedener Nutzungsszenarien der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2012 (WEHAM, Szenarien: HPS, rot: Holzpräferenz-Szenario, Basis, grün: Basis-Szenario, NPS, blau: Naturschutz-Präferenz-Szenario, Vergleich, graue Säulen: Ergebnisse Bundeswaldinventur 2012, Oehmichen et al. 2017). Die dargestellten Aufkommens-Werte jeweils unten rechts stellen abgeleitete Schätzungen nach den Entwicklungstrends für das Jahr 2050 sowie Überlegungen zu Abweichungen von den Szenarien-Trends dar und berücksichtigen die Umrechnung von Vorrats-Festmetern (Vfm) in Erntefestmetern durch Ernteverluste (Efm = 0,75 Vfm).

5. Folgerungen

Das von Nadelholz dominierte Rohholzaufkommen wird sich in den nächsten ca. 10 bis 15 Jahren vermutlich nicht verknappen, sondern auf hohem Niveau bleiben durch weiteren erwarteten Schadholz-Anfall insbesondere bei Fichte und die Waldumgestaltung zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel. Die danach zu erwartende, deutliche Verminderung des Nadel-Rohholzaufkommens bis zum Jahr 2050 wird vermutlich nicht durch ein steigendes Laubholz-Rohholzaufkommen ausgeglichen werden. Gründe hierfür sind Nutzungsextensivierungen in Laub- und Mischwäldern aus Klima- und Naturschutzgründen. Mit Abnahme des Holzaufkommens ist eine weitere Verstärkung von Nutzungskonkurrenzen (stoffliche vs. energetische Verwertung) wahrscheinlich und bei gleichbleibendem oder steigendem Holzbedarf (Holzbau-Initiative, Ersatz fossiler Brennstoffe) ein Anstieg der Holzimporte. Letzteres birgt die Gefahr von «Leakage», d.h. die verstärkte Holznutzung

im Ausland mit einer Minderung des CO_2-Speichers der dortigen Wälder und möglicherweise verstärkten illegalem Holzeinschlag. Wegen der starken Abnahme des Nadelholz-Aufkommens werden Nutzungsoptionen für die effiziente stoffliche Verwertung von Laubholz dringend benötigt. Eine fehlende stoffliche Verwertungsoption für Laubholz gefährdet auch Motivation der Waldbesitzer zur benötigten Waldanpassung. Um fehlendes Holzangebot aus dem Wald teilweise auszugleichen, sollten Erzeugungsoptionen von Industrieholz und ggf. Energieholz außerhalb des Waldes (Agroforstwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen) stärker in den Fokus rücken. Eine rein auf Laubbaumarten fokussierte Umgestaltung der Wälder zur Anpassung auf den Klimawandel läuft den derzeitigen und vermutlich auch zukünftigen Nutzungsansprüchen zuwider. Daher ist außerhalb von Schutzgebieten eine konsequente Beimischung von trockenheitstoleranteren Nadelbaumarten wie Weißtanne, Küstentanne oder Douglasie in klimaangepassten Nadel-Laubmischwäldern und das Halten von begrenzten Anteilen von Fichte in den höheren Mittelgebirgslagen und Kiefer im Tiefland ist zu empfehlen, um ein erwünschtes Maß an Versorgung mit Nadelrohholz sicherzustellen.

6. Literatur

[1] Bolte, A. Höhl, M., Hennig, P., Schad, T., Kroiher, F., Seintsch, B., Englert, H., Rosenkranz, L. (2021): Zukunftsaufgabe Waldanpassung. AFZ-DerWald 76, 4: 12-16.

[2] Bolte, A., Kroiher, F., Rock, J., Dieter, M., Bösch, M., Elsasser, P., Franz, K., Regelmann, C., Rosenkranz, L., Seintsch, B. (2022): Einschlagstopp in alten, naturnahen Buchenwäldern im öffentlichen Besitz: Definition, Vorkommen, Inventur-Kennzahlen, Gefährdung und ökonomische Bewertung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 48 S.p, Thünen Working Paper 197, DOI:10.3220/WP1657531523000

[3] BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2023): Massive Schäden - Einsatz für die Wälder. Online unter: https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/wald-trockenheit-klimawandel.html (12/07/2023).

[4] Destatis (2023): Land- und Forstwirtschaft – Wald und Holz. Online unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Wald-Holz/_inhalt.html (05/10/2023).

[5] Hennig, P., et al. (2019): Rohstoffquelle Wald – Holzvorrat auf neuem Rekord. AFZ-DerWald 74, 14: 24-27.

[6] Oehmichen, K. et al. (2017): Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung. Szenarienentwicklung, Ergebnisse und Analyse. Thünen Report 59: 75 S.

[7] Thünen-Institut (2023): Ergebnisse der bundesweiten Waldzustandserhebung, Interaktive Grafik. Online unter: https://blumwald.thuenen.de/wze/aktuelle-ergebnisse-der-wze (30/10/2023).

[8] Umweltbundesamt (UBA) (2023): UBA-Prognose: Treibhausgasemissionen sanken 2022 um 1,9 Prozent. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/uba-prognose-treibhausgasemissionen-sanken-2022-um (30/10/2023).

Epilog

Aus der Tradition in die Zukunft

Tradition of wooden construction and its recent trends in Japan

Seiichi FUKAO
Tokyo Metropolitan University
Tokyo, Japan



Tradition of wooden construction and its recent trends in Japan

Because of its geography and topography, Japan receives a large amount of rainfall in summer due to the moisture in the wind coming over the Pacific Ocean, while the wind from the Japan Sea brings moisture in the form of snow on the land in winter, nurturing forests in the mountains since ancient times.
During the Edo Period from the 17th century to the 19th century, tree planting became a common practice in many places. In the first half of the 20th century, some of woodlands were cleared and abandoned, but after the Second World War, many areas were reforested with sugi (Japanese Cedar) or hinoki (Japanese Cypress) trees, and those stands are now ready to be cut.



Forests in Japan



Sugi stands in Ryujinmura Village



Horyu-ji Kondo
buddhism architecture around 670 A.D.



Horyu-ji Denpodo
aristocratic residence built in 739

Japan has been blessed with forest resources since ancient times, and wooden construction has always been the main pillar of Japanese architecture. In the sixth century, Japan learned advanced building techniques for temples from China. Those building techniques were reinterpreted and adopted in a Japannes style to construct temples such as Horyu-ji Temple which still stands today. Horyu-ji Kondo or the Golden Hall of Horyu-ji Temple, said to be the oldest wooden architecture in the world, was reportedly built in or around 670 A.D. Legend has it that another building of Horyu-ji, called Dempodo, was the residence of a wife of the emperor at that time.

In those days, buildings were constructed by first erecting columns at a regular spacing and then bridging them with beams. Other types of structures such as log house constructions were often used for warehouses and other buildings which had no windows.



Shosoin: around 756 A.D.



Tamukeyama Hachimangu Shrine: around 8th Century

In Japan, hot and humid in summer, people wanted to have large openings. Rather than having windows as we know them, *Tategu*, or fitting panels were installed between posts.

In the 13th century, the trade with China was revitalized, bringing in new building technologies. The windows of Jisho-ji Temple, better known as Ginkaku-ji Temple, are believed to be built in the Chinese style that came to Japan in the 15th century. Jisho-ji Temple was rare exsample of a building haveing windows at that time.



Jisho-ji or Ginkaku-ji Temple:
Katomado or arched windows in 1489



Shizutani School Lecture Hall
A building which has typical openings

The Great Buddha Hall of Todai-ji Temple was originally constructed in 758 but was lost to fire. It was rebuilt in 1190, and then destroyed again in 1567. The Great Buddha Hall we see today was completed in 1709. Nevertheless, it is a gigantic structure of wood that is more than 300 years old.



Todai-ji Great Buddha Hall: 1709



Interior of Todai-ji Great Buddha Hall:
Built-up Pillars using timber.

Nandaimon or the Southern Main Gate of *Todaiji*, which stands in front of the Great Buddha Hall, remains intact over 800 years since it was built in 1203. The gate uses a horizontal member called *Nuki*, which goes through columns. The gate that was originally built back in the 8th century fell down due to high wind. Lateral resistance is extremely important in Japan because it is subject to seasonal typhoons and large earthquakes from time to time.



Namdai-mon Gate: 1203



Interior of Namdai-mon:
nukis run through columns.

This approach of constructing a frame with posts and beams was adopted for homes. Braces were not introduced until western architecture came to Japan in the 19th century and later. Up until around 100 years ago, ordinary Japanese houses were built with *nuki* for horizontal resistance. When the post and beam frame is deformed under load, which is different from bracing, the use of *nuki* allows the energy such as seismic energy to be absorbed through the embedment of the *nukis* into the posts.



the traditional residential construction method of today



Post 120 mm x 120 mm
with a *nuki* and a wedge

Nuki is also featured in a style of *torii*, the gate representing the border between the inside and the outside of the sacred premise of a shrine in the Japanese Shinto architecture. In the Myojin Torii style, a *nuki* is used as the connector for the two columns, which is its design feature as well.



Meiji Shrine Omotesando Torii: 2022



Previous Meiji Shrine Omotesando Torii: 1920

The torii of Meiji Shrine was built 100 years ago and replaced in 2022 due to rot and deterioration. The diameter of these columns is 1,067 mm or 3”6’. The torii also features *nuki.* The first torii was built using Hinoki or Japanese Cypress back in 1920, but Sugi or Japanese Cedar is used this time. It was simply impossible to acquire Hinoki wood of this size.



Nuki of the Torii



Cross-section of one of the pollars – 1067 mm in diameter



Katsura Imperial Villa-Koshoin and Chushoin: around 1615 to 1662



Katura Imperial Villa: Interior of Koshoin

Let’s turn the clock back by 500 years. In the *Muromachi* Period (1336 to 1573), some of the columns arranged at a regular spacing were removed to allow larger openings, which is called *Shoin-zukuri* style. This practice became more freely applied in the *Edo* Period. Just like any other southern Asian countries, for Japan, with a hot and humid climate, erecting posts to support a roof was the basic approach to construction. For openings, the preferred solution was to place *tategu* or fitting panels between columns, rather than windows. The concept of «windows» was not known to Japan untill the end of the 16th century, with a few exceptions.

With the arrival of the Meiji Period came western technologies, bringing major changes to the Japanese wooden architecture. During the Second Word War, wood was used to build even a airplane hanger. After the war, large timber structures such as indoor sport facilities were built using glue laminated timber. However, wood construction had to endure a dark period. The Great Kanto Earthquake of 1923 and the aerial bombing during the Second World War caused urban infernos, which raised the concern for the fire risk of wooden buildings greater than necessary. We had to wait till the 1980’s to see a re-evaluation of wooden construction. This is a photo of a hotel built in wood, designed by one of my teachers, Masao Hayakawa.



Hakkoda Hotel: 1991 designed by Masao Hayakawa



Modernized four-way insert construction *(Kanzashi)*

In or around 1989, the Building Research Institute (BRI), a Japanese national research organization, began to study construction methods for large timber construction in Japan. At that time, the focus was how to construct posts and beams using glulams effectively and efficiently. I was in charge of the project for the connection shown in this picture.



BRI's large wooden building as a pilot



Prototype connection by BRI

So-called rigid frame construction, where columns and beams are rigidly connected, is difficult to create using wood, and the work is on-going even today. There are very recent examples of mid-sized wooden buildings using new connecting details designed with a broader market in mind.





Example of rigid connection: designed by arcitectural design office *Building Landscape* in 2023

As shown, the post and beam construction is popular in Japan. There are many reasons for this, with the major ones being the freedom of planning and large openings. In addition, it may be that Japanese love the texture and varying appearance of wood.

Of course, platform wood frame construction is used as well. CLT is good for horizontal application, and we see more buildings using CLTs or LVLs.

Now let me show you recent projects of wood construction in Japan. This one is a school in wood, using different types of engineered wood. Wooden walls, needless to say, also work against horizontal forces.





Oguro-no-mori Middle School: designed by Nihon Sekkei in 2022 Interior

A large span open space using wood is also sought after. This Ariake Gymnasitic Stadium was designed by Nikken Sekkei and Shimizu Corp. for the 2020 Tokyo Olympic Games.





Gymnasium at Oguro-no-mori Middle School Ariake Gymnastic Stadium in 2019

We see more office buildings and research institutions being built in wood.





Tsukuba Research Institute, Sumitomo Forestry in 2019 Interior of the Institute

These photos are of the training facility, named Port Plus, of Obayashi Corporation, a construction company. The building demonstrates a characteristic of post & beam structures by exposing wood elements as architectural ones. The building was designed by Obayashi.



Port Plus 2022



interior

We are seeing more of CLT and other materials for shear walls against lateral forces, and a study is on-going for shear walls that can transmit light. This is an example of such technology developed by Masahiro Inayama, specializing in wooden materials. The architect, Masamitsu Nozawa, applied it to an office building. You can see that CLT is also used as V-shaped beams.



Chamber Commerce of Hanno: 2020



V-shaped beams of CLT



shear walls against lateral forces transmitting light



Kumiko-like bearing walls

Also, I am happy to report that the *nuki* construction is receiving renewed interest. It must be a part of a larger movement to revitalize and utilize traditional techniques in the present. This photo shows a fire department built with gluelams, which succeeded to create large openings to accommodate fire engines by using wood everywhere with *nuki* connection.





Sumita-cho branch fire station

It is recognized that the use of *nukis* would create uniquely Japanese architectural reatures, and the main venue of Expo 2025 Osaka, Kansai, Japan has a plan for a structure featuring wood in abundance using *nukis* for construction.

The main venue is designed by Sou Fujimoto architects, Tohata Architects & Engineers and Azusa Sekkei



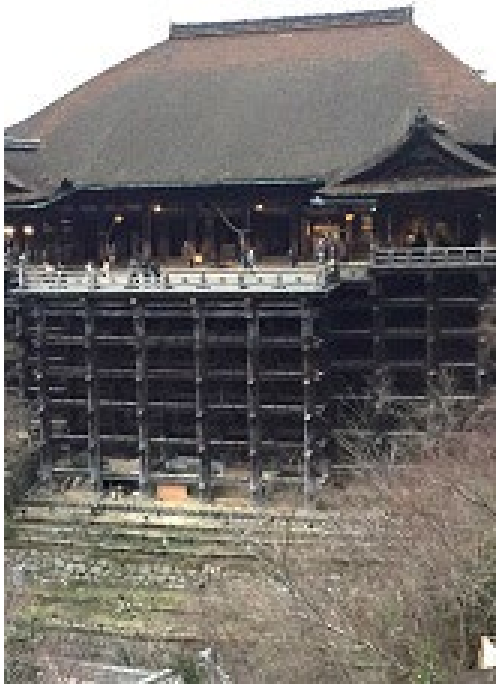
Venue of Expo 2025 Osaka, Kansai, Japan under construction (courtesy of Obayashi Corporation)



Details of the *nuki* connection (courtesy of Obayashi Corporation)

Please come and visit the Expo 2025 in Osaka!
Osaka is a great starting point for a tour of historical wooden buildings in nearby Kyoto and Nara.

This shows the stage of Kiyomizu-dera Temple in Kyoto, a very famous tourist spot.



The stage at Kiyomizu Temple: 1633



The stage of Kiyomizu Temple: a shot from the bottom

Before concluding my paper, I will show the extension project of my own residence I did 27 years ago in 1996.

I call this *Shigebashira no Ie* or Residence of Close-set Posts. It is not a large project, but a trailblazer one at that time because of its use of a massive amount of wood.
Post-WWII plantations in Japan started to produce *Sugi and Hinoki* lumber for posts (120 mm x 120 mm), which was available at a very reasonable price, and I made the decision to use it in abundance.







Shigbashira no ie or House of Close-set Posts: located in Suginami, Tokyo, designed by Seiichi Fukao in 1996

It is important to use wood in an efficient manner, but using a lot of it is also meaningful as a form of sequestration of CO_2.

Kennt der Holzbau Grenzen des Wachstums?

Philipp Dietsch
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Karlsruhe, Deutschland



Kennt der Holzbau Grenzen des Wachstums?

1. Einleitung

Der Titel dieses Vortrags bezieht sich auf den gleichnamigen Bericht des Club of Rome [1], herausgegeben vor 50 Jahren. Seit damals hat sich die Zahl der Menschen auf der Erde verdoppelt. Wir Menschen nehmen Raum ein, wir verbrauchen Ressourcen. Dies führt dazu, dass unser CO_2 Verbrauch trotz aller Bemühungen weiterhin steigt. Zunehmender Wohlstand und zunehmender CO_2-Verbrauch sind bislang unmittelbar aneinandergekoppelt. Um den Zielkonflikt zwischen weiterem Wachstum und endlichen Ressourcen zu bewältigen, setzen viele Regierungen auf *grünes Wachstum*. Ob diese Entkopplung gelingen kann – weiteres Wachstum bei gleichzeitig sinkenden Umweltschäden – diesen Nachweis gilt es in den kommenden Jahren zu erbringen. Die Europäische Union und die USA setzen dabei auf *Green Deals*. Diese rücken u.a. den Holzbau in den Fokus: Der Holzbau soll wachsen. Eine große Chance für die Holzbau-Community. Doch können wir den damit einhergehenden Anforderungen gerecht werden? Oder gibt es vielleicht Einflüsse, die dem Holzbau Grenzen seines Wachstums setzen können? Und sollte es diese geben: Wie können wir diesen Herausforderungen begegnen? In diesem Beitrag versuche ich ein paar Gedanken und mögliche Lösungsansätze zu formulieren, welche im Zusammenhang mit diesen Fragen stehen.

2. Verfügbarkeit

Als Resultat des Klimawandels verändert sich unser Wald. Dies belegen nicht nur die Klimahüllen für unsere häufigsten Baumarten, die sich verschieben. Unsere meistverwendeten Nadelhölzer stehen unter Druck. Durch den zunehmenden Anteil an Kalamitäten steigt zwar kurzfristig das Holzangebot auf dem Markt, langfristig gesehen führt dies jedoch zu Herausforderungen in der Verfügbarkeit, denn die Anpflanzung der, vom Holzbau meist verwendeten, Holzarten geht stark zurück. Der Anteil der Laubbäume in unseren Wäldern nimmt zu. Der Anteil an Laubholz, welches in normalen Jahren in Deutschland geschlagen wird, beträgt jedoch nur ca. 25%. Der Großteil davon kommt nicht in der Schnittholzerzeugung an, rund 50% des Laubholzes wird exportiert und nicht in Deutschland verwendet [2]. Der wissenschaftliche Beirat für Waldpolitik der Deutschen Bundesregierung sieht den deutschen Nadelholzbedarf noch für 15 bis 20 Jahre durch inländische Versorgung gedeckt [3]. In Anbetracht der Tatsache, dass viele Entwicklungen im Bauwesen, von der ersten Idee über die Umsetzung bis zur breiten Akzeptanz in der Baupraxis, meist 10+ Jahre brauchen, müssen wir jetzt Entwicklungen anschieben, um Laubholz vermehrt im Holzbau einzusetzen. In anderen Worten: Der Waldumbau muss noch stärker im konstruktiven Holzbau ankommen, um uns von individuellen Preisentwicklungen und einer zunehmenden Abhängigkeit von Importen zu entkoppeln. Auch wenn die Holzpreise in letzter Zeit wieder deutlich gesunken sind bin ich der Ansicht, dass der Rückgang der von uns meistverwendeten Ressource in Verbindung mit der steigenden Nachfrage nach Nadelholz die Holzpreise langfristig ansteigen lassen werden.

Energie, die zur Herstellung und zum Transport von Baumaterialien benötigt wird, ist mittlerweile zum Unsicherheitsfaktor und potentiellen Preistreiber geworden. Holz als natürlich vorkommender und lokal nachwachsender Rohstoff ist hiervon nicht so stark betroffen, wie andere Materialien, ganz befreit von dieser Entwicklung ist der Holzbau aber auch nicht.

Vor diesem Hintergrund wird Ressourceneffizienz auch ökonomisch wieder Sinn machen. Ehemals als zu arbeitsintensiv eingeordnete Bauweisen werden womöglich eine Renaissance erfahren. Ein Beispiel sind aufgelöste Tragsysteme, ein anderes ist die weitere Hybridisierung von Brettschichtholz und Brettsperrholz. Entwicklungen hierzu haben ja bereits begonnen: Brettschichtholz aus Nadelholz und Laubholz und/oder Stäbchenlamellen, Brettsperrholz mit Ausschussware oder Altholz in den Innenlagen und/oder auf Lücke gelegten Lamellen.

Die Industrialisierung der *mass timber construction* hat die Ingenieurkunst ein wenig in den Hintergrund treten lassen. Diese Fähigkeiten sind in der Holzbaubranche jedoch weiterhin vorhanden. In Verbindung mit den Möglichkeiten der Robotik ergeben sich neue Chancen materialeffizientere Bauteile und Tragwerke zu entwickeln und umzusetzen.

3. Entsorgung

Die Entsorgung von Bauabfällen wird zum Kostenfaktor. In den letzten acht bis zehn Jahren hat sich der Preis für die Entsorgung von Bauschutt um 350% erhöht [4]. Das bedeutet, die Wiederverwendung von Bauteilen oder zumindest die Trennung von Bauteilen in einzelne wiederverwertbare Rohstoffe wird auch wirtschaftlich relevant werden. Trotzdem wird meiner Ansicht nach auch das zukünftige Bauen hybrid bleiben, Verbundbauteile machen in vielerlei Hinsicht (z.B. statisch, bauphysikalisch) Sinn. Die Prämisse sollte allerdings sein, dass Verbundbauteile am Ende ihrer Lebensdauer wieder in ihre einzelnen Elemente getrennt werden können.

Dies ergibt interessante Aufgaben im Bereich der Verbindungsmittelentwicklung, lösbare Verbindungen – sowohl zwischen Holzbauteilen als auch in Verbundbauteilen – werden zum Goldstandard werden. Aber auch die verbundlose Vorspannung von Bauteilen – etwa aussteifenden Treppenhauskernen – bietet in diesem Zusammenhang Potential, welches noch nicht ausgeschöpft wurde. Sie erlaubt die Reduzierung anderer Verbindungen, etwa Zuganker, und ist am Ende der Nutzungsdauer wieder lösbar, die vorgespannten Holzbauteile lassen sich sortenrein rückbauen und erneut einsetzen.

4. Wieder- und Weiterverwendung

Kreislauffähigkeit muss geplant werden. Interessant wird hierbei Frage, welche Ebene der Wieder- bzw. Weiterverwendung von Bauteilen sich als die praktikabelste herausstellt. Ist es zielführend, ganze Gebäudeteile/Raummodule für eine Wiederverwendung vorzusehen (vgl. *mobile homes* in den USA). Oder macht es mehr Sinn, die Weiterverwendung von Bauteilen (z.B. Wand- oder Deckenelemente) oder Baukomponenten (z.B. BSH-Stütze) zu planen? Oder zielen wir im Sinne maximaler Flexibilität darauf ab, Bauteile in ihre Ausgangsprodukte aufzuschließen (z.B. Lamellen) um daraus neue Bauprodukte zu erstellen? Unabhängig von der wahrscheinlich individuellen Antwort auf diese Fragen ist die Notwendigkeit, die dauerhafte Rückverfolgbarkeit jedes einzelnen Bauteils in einem Gebäude sicherzustellen. Hier präsentiert sich der digitale Zwilling als Lösung. Aber wir sollten aufpassen, hierbei trotz guter Absichten nicht auch Probleme zu erschaffen. Bereits heute werden 10% der weltweiten Energie für das Internet verbraucht, darunter die Datenspeicherung mit steigender Tendenz [5]. Der Bitcoin verbraucht heute bereits mehr Energie als Österreich [6]. Die große Menge an lange im digitalen Zwilling zu speichernden Daten sollten diesen Trend nicht fördern. Mit Blick auf die rasante Entwicklung von Computersystemen stellt sich darüber hinaus die Frage, wie unsere Enkelgeneration auf diese Daten zugreifen soll. Im Rahmen von Bestandsuntersuchungen hat sich die direkte Zuordnung über eine Markierung am Bauteil selbst (zukünftig z.B. QR-Code) als sehr zuverlässig erwiesen.

Ein *design for reuse* und Materialpässe werden unserer Enkelgeneration helfen, heute hergestellte Bauteile in Zukunft wiederzuverwenden. Wir sind aber bereits jetzt aufgefordert, den Bestand als Materiallager zu erkennen und zu nutzen. Die Herausforderungen hierbei sind vielfältig. Der Gebäudebestand besitzt keine Materialpässe. Andere Dokumentation ist meist rar, was eine sichere Klassifizierung für eine erneute baurechtlich abgesicherte Anwendung erschwert.

Der Rückbau erfordert Sorgfalt, um die Qualität der wiederzuverwendenden Bauteile zu erhalten. Sorgfalt die beim Holzbau auch den Feuchteschutz der rückgebauten Bauteile einschließt. Sorgfalt erfordert Zeit, Zeit die für Investoren einen längeren *return on investment* nach sich zieht. Der heute übliche Abbruch ist effizient aber grobmotorisch, weder Maschinen noch Personal sind auf einen Rückbau ausgelegt. Das abgebrochene Holz ist

zumeist vorgesehen für die thermische Verwertung. Ein Markt für eine Wiederverwendung ist zwar schemenhaft zu erkennen, umfasst bislang jedoch fast ausnahmslos nichttragende Bauelemente. Digitale Baustoffbörsen sind die kleinere Herausforderung. Reale Lager in denen rückgebaute Bauteile klassifiziert, gesäubert, bearbeitet und anschließend in ihrer Vielfalt aber auch ausreichender Menge gelagert werden, sind sicherlich die größere Herausforderung auf dem Weg in eine zirkuläre Baubranche. Ob die Baubranche, die Abbruchindustrie oder neue Marktteilnehmer diesen Markt besetzen, wird sich zeigen. Auch wenn die zu lösenden Fragen groß und vielfältig sind, stehen wir vor einem Anpackthema. Wir sollten uns zutrauen die Wiederverwendung, die im historischen Holzbau bereits üblich war, anzugehen. Im Kleinen, von landwirtschaftlichen Gebäuden bis hin zu studentischen Initiativen, beginnen wir ja bereits Erfahrungen zu sammeln.

5. Energieeffizienz

Seit Jahrzehnten schreitet die Entwicklung energieeffizienterer Gebäude voran. Da es unser Wohlstand erlaubt zunehmend Wohnfläche pro Einwohner zu beanspruchen, heben wir diese Potentiale bis zum heutigen Tag jedoch weitgehend auf [7]. Mit Blick auf Gebäudetypologien könnte eine stärkere Berücksichtigung des Verhältnisses von Hüllfläche zu Wohnfläche (Einfamilienhaus vs. Wohnung in Mehrfamilienhaus) weitere Möglichkeiten zur Energieeinsparung verdeutlichen [8].

6. Dauerhaftigkeit

Das zweitnachhaltigste Gebäude ist das Gebäude, welches möglichst lange genutzt wird. Die Lebensdauern von Gebäuden werden sich erhöhen müssen. Gleichzeitig gibt es deutliche Indizien, dass die Nutzung von Gebäuden häufigere Änderungen erfahren wird. Als Resultat dessen müssen Gebäude flexibler werden. Das Projekt *Einfach Bauen* [8] hat verdeutlicht, dass wir die drei Grundfunktionen eines Gebäudes (Tragen, Einhüllen, Ver- und Entsorgen) vermehrt in trennbaren Schichten denken müssen, da erfahrungsgemäß vor allem Konstruktion und Anlagentechnik deutlich unterschiedliche Lebensdauern aufweisen. Zunehmende Lebensdauern im Holzbau sind Synonym mit dauerhaften Konstruktionselementen was bedeutet: guter baulicher Holzschutz ist keine Option sondern Bedingung.

7. Die nächste Generation

Der Holzbau steht vor spannenden Aufgaben. Damit ergeben sich Chancen, aber auch eine große Verantwortung. Die Community, die diese Aufgaben bewältigen kann, ist vergleichsweise klein, noch, aber sie wächst. Bereits jetzt deutet sich an, dass der zunehmende Fachkräftemangel der engste Flaschenhals für die Weiterentwicklung des (Holz)Bausektors wird. Dies betrifft sowohl Facharbeitende wie auch Fachplanende. Talentierte und begeisterte Nachwuchskräfte zu gewinnen, wird mehr denn je zur Kernaufgabe. Es reicht nicht mehr, die verbliebenen Studierenden/Auszubildenden auf Jobmessen zu umwerben. Wir sollten bereits Schüler von unserer schönen Aufgabe überzeugen. Holz steht für nachhaltiges Bauen, der Holzbau steht für Digitalisierung, Vorfertigung und Robotik – treffen wir damit nicht die Neigung vieler *sustainable natives* und *digital natives*? Und im Vergleich zu anderen Berufszweigen haben wir einen weiteren Vorteil: Wir können zeigen, was wir tun. Die Aufgabe besteht darin, diese Vorteile im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit stärker herauszuarbeiten.

8. Literatur

[1] Meadows, D. et al., Die Grenzen des Wachstums: Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1972.

[2] Statistisches Bundesamt, 2022.

[3] Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik, Die Anpassung von Wäldern und Waldwirtschaft an den Klimawandel. Berlin, 192 S., 2021.

[4] https://www.ecoservice24.com/de/entsorgungspreisindex/

[5] Andrae, A., Edler, T., On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030, Challenges, 6, 117-157, 2015

[6] https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption

[7] Ebert, T., Essig, N., Hauser, G., Zertifizierungsssysteme für Gebäude., Detail Business Information, München, 2010.

[8] Nagler, F. (Hrsg.), Einfach Bauen – ein Leitfaden, Birkhäuser, Basel, 2021.

Sponsoren und Aussteller



ADOPT AXIL 3000 P+ WOOD TREATMENT TO ENSURE YOUR CONSTRUCTIONAL TIMBER'S LONGEVITY

- Preserves the natural state of wood
- Bio-Based wood preservative solution
- Up to class 3.2 autoclave treatment
- BPR Approval
- Wide range colours available

BIO-BASED SOLUTION®

Use biocides safely. Always read the labels and product information before use.

adkalis®

adkalis.com

+33 (0)5 64 31 06 60
adkalis@berkem.com

A subsidiary of groupe berkem

WÜRTH

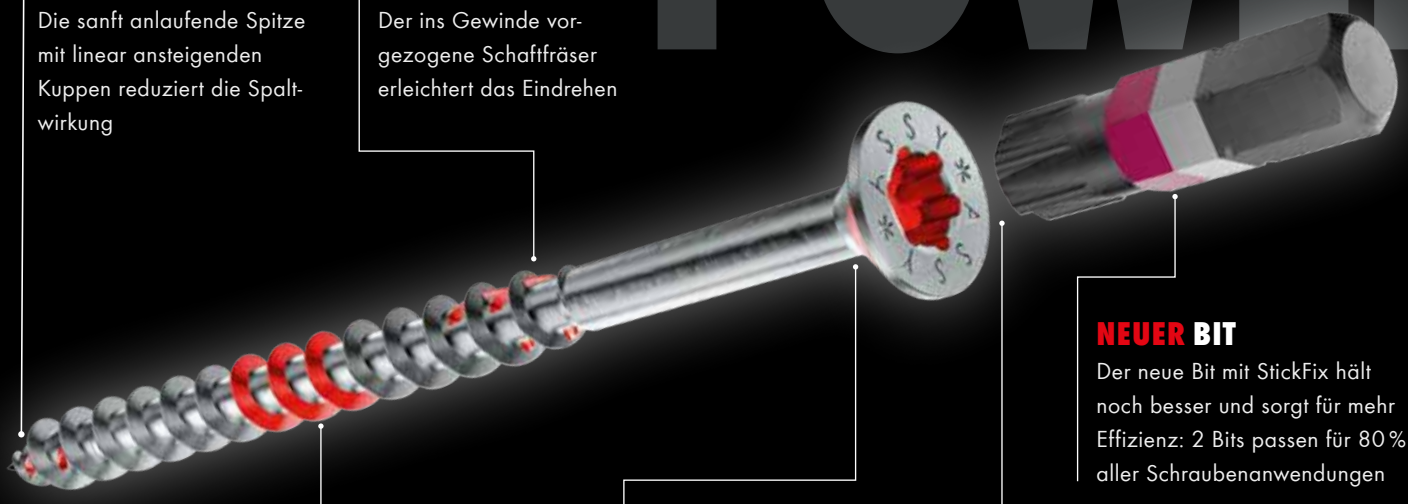
ASSY®4

Die Summe ihrer Innovationen macht die beste Performance aller Zeiten

INNOVATIONS POWER

NEUE SPITZE
Die sanft anlaufende Spitze mit linear ansteigenden Kuppen reduziert die Spaltwirkung

NEUER SCHAFTFRÄSER
Der ins Gewinde vorgezogene Schaftfräser erleichtert das Eindrehen



NEUER BIT
Der neue Bit mit StickFix hält noch besser und sorgt für mehr Effizienz: 2 Bits passen für 80 % aller Schraubenanwendungen

NEUES GEWINDE
Das neue Gewinde verbindet Platten im Korpusbau jetzt noch besser

NEUE FRÄSTASCHEN
Die größere Anzahl an Frästaschen erleichtert das Versenken der Schraube in harten Oberflächen

NEUER ANTRIEB
Die größere Kontaktfläche am neuen RW-Antrieb sorgt für eine noch bessere Kraftübertragung



ASSY®4
MADE FOR YOUR PERFORMANCE

ZUM VIDEO:

Die neue ASSY®4.
Alle Informationen unter **wuerth.de/assy**

AGEPAN® SYSTEM



AGEPAN® DWD black

Die ökologische Lösung für hinterlüftete Vorhangfassaden mit offenem Fugenanteil

+ Made in Germany
+ Umweltfreundlich und recyclebar
+ Stabiles Nut- und Federprofil – schnell zu verlegen
+ Abriebfest, gute Haftung von Klebebändern – Primer- und Zeitersparnis

www.sonaearauco.com/agepan

SONAE ARAUCO
Taking wood further

AIR FIRE TECH

Brandschutzlösungen
für Haustechnik in Brettsperrholz
Unsere 3 Konzepte



Konzept 1
Einzelabschottungen
Single penetration seals



Konzept 2
Kombiabschottungen
Mixed penetration seals



Konzept 3
Abschottungen in Schachtwänden
Penetration seals in shaft walls

Scannen und mehr entdecken!



AIR FIRE TECH ist spezialisiert auf Abschottungen in Brettsperrholzkonstruktionen für haustechnische Installationen. Von Sanitär und Heizung über Lüftung bis zu Elektro.

www.airfiretech.at



ENERGIE-AUTONOMIEHAUS, WÄRMEPUMPENSYSTEME, INFRAROTHEIZUNGEN
MODERNE TECHNOLOGIEN IN DER GEBÄUDESANIERUNG

Für die Energiewende im Bereich des Wohnungsbaus werden neue Energiestandards benötigt. Mit dem Konzept der Energie-Autonomie wird der Hausbesitzer nicht nur unabhängig von Energielieferungen, sondern es wird auch die „Energiehypothek", die sogenannte graue Energie, für Errichtung, Modernisierung und Rückbau des Gebäudes durch Einspeisung von Strom-Überschüssen in die Stromnetze ausgeglichen.

Beim Energieautonomie-Haus werden Photovoltaik samt Speicher und Energiemanagement mit Wärmepumpen und Infrarotheizungen je nach Anwendungsfall optimal kombiniert und dimensioniert. Dies ist sowohl in Neubauten als auch bei der Altbausanierung gleichermaßen anwendbar.

Diese und weitere Themen rund um Aspekte der nachhaltigen Gebäudeentwicklung, einschließlich einer detaillierten Untersuchung der Vor- und Nachteile der zur Verfügung stehenden Systeme (speziell auch IR-Heizung und Wärmepumpe), werden in den Herbst-Seminaren der Akademie der Hochschule Biberach behandelt.

Diese Seminare bieten auch die Möglichkeit, Weiterbildungspunkte für die Energieeffizienz-Expertenliste zu sammeln.

Wir freuen uns auf Ihren Besuch!

13.-14.12.2023 (Energieeffizienz-Experte)
Energieaudit DIN EN 16247

21.02.-17.07.2024
Energieberatung für Wohngebäude | Qualifikationsprüfung

19.-20.02.2024
Effiziente Wärmepumpen-System-Anwendungen

26.02.-14.03.2024 (Energieeffizienz-Experte)
Basismodul Grundlagen der Energieberatung

14.-16.03.2024
Bauphysikseminar - Wärmebrückenberechnung mit Praxisworkshop

15.-24.04.2024 (Energieeffizienz-Experte)
Vertiefungsmodul Energieberatung für Wohngebäude

03.-25.06.2024 (Energieeffizienz-Experte)
Vertiefungsmodul Energieberatung für Nichtwohngebäude

12.11..2024
Das Energie-Autonomiehaus als alternative energetische Sanierung von Wohngebäuden

13.11.2024
Infrarotheizung - Grundlagen, Anwendung und Regelung

Fortlaufend
Qualifizierungsangebote für die Energieberatung und Energiefachseminare für die Verlängerung des Eintrags auf der Energieeffizienz-Expertenliste

Weitere Infos und Veranstaltungen finden Sie unter:
www.akademie-biberach.de/energieeffizienzexperte

40 akademie
JAHRE DER HOCHSCHULE BIBERACH

Akademie der Hochschule Biberach
Karlstraße 6
88400 Biberach
Telefon: +49 7351 / 582-551
Mail: kontakt@akademie-biberach.de
Web: www.akademie-biberach.de

Unser nachhaltiges System



Ampatex® Eco 5 extra

Nachhaltige Dampfbremse und Luftdichtung, gitterverstärkt

Ampacoll® Easy

Linerloses Klebeband aus Spezialpapier

Weitere nachhaltige Produkte auf
eco.ampack.biz

eco.ampack.biz

Besuchen Sie uns am Messestand
TF115

Maximize your load



DIE PKW-REVOLUTION:
T 35 + XPU 35

Auwärter
TELE-CARGO-SYSTEMS

auwaerter.com

Vakuumsortierroboter





Ideal für den Holzbau ...

... blitzschnell und bärenstark ...





... für Stangen- und Plattenhandling!



Balz Maschinen AG
Obermattweg 11
CH 3550 Langnau i. E.
info@balz-maschinen.ch
+41 34 409 02 02

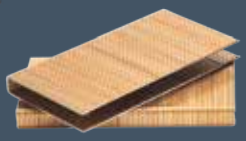
BeA GROUP



BeA Autotec Baureihe 244

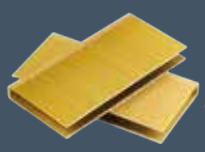
Speziell für den Einsatz in Multifunktionsbrücken und Robotern im Holzfertighausbau konzipiert

- Kompakte Bauweise mit schnellen Ladezeiten
- Wartungsarm und hohe Standzeiten
- Elektronische Heft- und Magazin-kontrolle
- Mit Wechselkassette



Für Klammern Typ K92
L 21 - 32 mm Ø 1,2 mm





KG-Klammern.
Passend auch für andere Gerätemarken

KMR Skater für KG Klammern ideal für die serielle Befestigung von Platten im Holzrahmenbau auf Platten bis zu 3m Länge

- Zwei Handgriffe mit Auslösesicherung
- Garantiert die Einhaltung der vorge-schriebenen Klammerabstände
- Auslösestop auf der Platte
- Leerschlagsperre
- Frontplattenöffnung zur schnellen Störungsbeseitigung
- Stufenlose Höhenverstellung
- Peilnuten für exaktes Arbeiten
- Leichtlaufräder, vermeiden Spuren

FASTENING TECHNOLOGIES **FOR FUTURE GENERATIONS**

www.bea-group.com



Bild: Daniel Vieser . Architekturfotografie

HOLZBAU
BADEN-WÜRTTEMBERG

BILDUNGSZENTRUM

QUALIFIKATION HEUTE
IST DIE CHANCE VON MORGEN!

BILDUNGSZENTRUM HOLZBAU in Biberach an der Riss





FORT- UND WEITERBILDUNG FÜR DIE GESAMTE HOLZBAUBRANCHE

- Weiterbildung für ALLE - vom Auszubildenden bis zum Unternehmer
- Umfassendes Seminar-Portfolio mit über 100 verschiedenen Seminaren
- Erstklassige Referenten mit hoher Fachkompetenz und Praxisbezug

TRIALER STUDIENGANG - BIBERACHER MODELL HOLZBAU PROJEKTMANAGEMENT / BAUINGENIEURWESEN

- Duale Ausbildung im Zimmererhandwerk und Studium Holzbau Projektmanagement
- Abschlüsse: Gepr. Polier/in, Zimmermeister/in und Bachelor of Engineering
- Große Bauvorlagenberechtigung und Expertise im Holzbau

HOTEL & TAGUNG

- Erstklassige Infrastruktur und kompetenter Service für Ihren Bedarf
- Moderne Tagungsräume und behagliche Hotelzimmer
- Restaurant mit regionalen und saisonalen Spezialitäten
- Helle und großzügige Seminarwerkstatt





Kontakt:
Bildungszentrum Holzbau
Leipzigstraße 13 und 21
88400 Biberach an der Riss
Tel. 07351 / 4 40 91-50
info@zimmererzentrum.de
www.zimmererzentrum.de


Holz schafft
Zukunft.
↳ blumer-lehmann.com
HORTUS – developed by SENN, © Herzog & de Meuron



„Wir sind neugierig auf Ihre Aufgaben“



BRAUN

EDV im Handwerk & Gewerbe
Beratung und Vertrieb

Ellersreute 1, 88175 Scheidegg
Telefon: +49-8381-929209-0
Fax: +49-8381-929209-15
Mail: info@edvimhandwerk.de
Mobil-D: +49-171-8120218
Mobil-Ö: +43-664-3843550
www.edvimhandwerk.at



Kalkulations- und Auftragssoftware
der Spitzenklasse – seit über 30 Jahren in über 5.500 Betrieben im Einsatz: PASST.prime aus dem Hause M-Soft.

Besonders die Kalkulationsmöglichkeiten in M-Soft suchen Ihresgleichen!

Wo nötig, entwickeln wir eigene Lösungen, um eine optimale vernetzte Lösung „Alles aus einer Hand“ anbieten zu können.

Hier einige unserer LPC Eigenentwicklungen: (LPC steht für Laufendes Projekt Controlling)

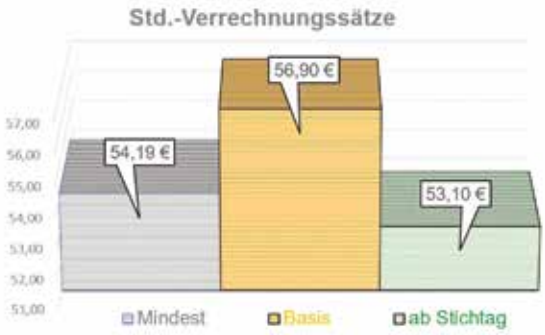
Mit unserem Tool **LPC-KORE** erhalten Sie eine Kostenrechnung, die Ihnen Ihren Mindest-Verrechnungssatz bezogen auf exakt IHRE Betriebsdaten berechnet.

Mobile Zeiterfassung auf dem Smartphone:

Unsere mobile Zeiterfassung TIME4 bietet Ihnen
+ Anwesenheits- und Projektzeiterfassung
+ Buchung auf Positionen oder Arbeitspakete und Tätigkeiten
+ Gruppenbuchungen und Nacherfassung
+ Anlage von Handaufträgen auf der Baustelle
+ Foto- oder Textdokumentation (auch Spracherfassung)
+ Wetterdaten
+ Materialerfassung am Handy
+ Abarbeiten von Checklisten
+ Unterschrift des Kunden auf dem Smartphone
+ Bautagesbericht und mobiler Regiebericht
+ GPS-Ortung uvm.



Und für Anwender unserer Kalkulations- und Auftragsverwaltung M-Soft PASST.prime greifen wir mit **LPC-ERFOLG** zusätzlich noch die Informationen der Fakturierung, der Offenen Posten Verwaltung sowie der Nachkalkulation ab und stellen dem Kalkulator den Verrechnungssatz zur Verfügung, der von HEUTE bis Jahresende benötigt wird, um die geplanten Kosten und den geplanten Gewinn zu erwirtschaften. MIT **LPC-ERFOLG** erhalten sie TÄGLICH eine Aussage über die Erlössituation Ihres Unternehmens.



Mit unserem **LPC-ANGEBOT** erhalten Sie eine Komplettübersicht über alle offenen Angebote mit der Möglichkeit, diese nach Chancen zu bewerten (0-100%). Daraus resultiert dann eine Vorschau an bereits fiktiv verkauften Stunden und Umsätzen.

Mit unserem **LPC-AUSLAST** liefern wir einen Auslastungs-Monitor Ihrer Aufträge auf dem Zeitstrahl mit Kapazitätsvorschau, der auf Wunsch sogar die nach Chancen bewerteten Angebote mit darstellt, um eine frühzeitige und realistische Einschätzung von Kapazitätsengpässen zu ermöglichen.

Mehr Infos dazu auf unserer Homepage **www.edvimhandwerk.de**

M·SOFT
Kalkulations- und Auftragssoftware

TIME4
Mobile und stationäre Zeiterfassung mit mobiler Kundendienstlösung

LPC-Tool
Laufendes Projektcontrolling
Bewertung halbfertiger Arbeiten
Stundensatz- und Erfolgsrechnung

Projekt- und Kapazitätsplaner
mit Angebots-Vorschau

Archivierung/DMS
Dokumentenarchivierung und Dokumenten-Management mit M-Soft DMS oder ELO

EURO-Fibu
Finanzbuchhaltungs-software

meritum
(Bau-)Lohnabrechnungs-software

GPS-Ortung
Für Fahrzeuge und Maschinen

Bundes-Gütegemeinschaft Montagebau und Fertighäuser e.V.



Das RAL Gütezeichen. Eine sichere Sache!

RAL GÜTEZEICHEN HOLZHAUSBAU

RAL GÜTEZEICHEN HOLZROHELEMENT HERSTELLUNG

RAL GÜTEZEICHEN Stahlsystembauweise

RAL GÜTEZEICHEN MOBILE RAUMSYSTEME

Bundes-Gütegemeinschaft Montagebau und Fertighäuser (BMF) e.V.

Die BMF wurde 1961 mit dem Ziel gegründet, die Qualität der Produkte und Prozesse ihrer Mitgliedsunternehmen sicherzustellen und neue Standards im Bereich des Fertigbaus zu setzen. Sie ist eine von RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. anerkannte Gütegemeinschaft und vereint rund 130 Mitglieder aus dem In- und Ausland.

Die RAL Gütezeichen der BMF-Mitglieder stehen für Produkte und Dienstleistungen, die klar definierte Qualitätskriterien erfüllen. In den RAL Güte- und Prüfbestimmungen sind diese Kriterien fest verankert und für alle Interessenten öffentlich zugänglich. Die Anforderungen der RAL Gütezeichen werden regelmäßig durch eine unabhängige Überwachungs- und Zertifizierungsstelle, die BMFcert GmbH, geprüft und bieten ein hohes Maß an Sicherheit für den Endverbraucher. Bauherren können die RAL Gütesicherung des Herstellers als Grundlage für ihre Hausfinanzierung nutzen. Auch bei öffentlichen Ausschreibungen wird dieser Standard als Vergabekriterium herangezogen.

Nutzen Sie gerne das Kontaktformular auf **www.guetesicherung-bau.de** oder informieren Sie sich per E-Mail oder Telefon über die RAL Gütezeichen und eine Mitgliedschaft in der BMF.

Bundes-Gütegemeinschaft Montagebau und Fertighäuser e.V.

Rhöndorfer Straße 85, 53604 Bad Honnef
info@guetesicherung-bau.de / +49 (0) 2224 969152-0

cadwork®

Ihr durchgängiges 3D-CAD/CAM-System für alle Bereiche des Holzbaus

durchgängig

von der Architektur über die Konstruktion bis hin zur Fertigung

flexibel

durch freie Konstruktion in der Schreinerei, Zimmerei, im Ingenieurholzbau und in allen anderen Bereichen des Holzbaus



schnell

Kurze Einarbeitungs- und Bearbeitungszeit durch praxisgerechte Werkzeuge des Holzbaus. Hoher Automatisierungsgrad in allen Ein- und Ausgaben.

testen

Überzeugen Sie sich selber! Wir stellen Ihnen cadwork zum Testen als Vollversion mit Hotline zur Verfügung.

Nehmen Sie Kontakt auf!

cadwork informatik Software GmbH
Lavesstraße 4, D-31137 Hildesheim
Tel. +49 (5121) 919990
Fax +49 (5121) 919960
info@cadwork.com

Cadwork Holz AG
Industriestraße 28, CH-9100 Herisau
Tel. +41 (71) 242 00 30
Fax +41 (71) 242 00 39
info@cadwork.swiss

Cadwork SA
Route de Montreux 151,
CH-1618 Châtel-St-Denis
Tel. +41 (21) 943 00 40
Fax +41 (21) 943 00 50
admin@cadwork-04.ch

cadwork - die Referenz im Holzbau

Projekt:
Maisons Laprise
Quebec, Kanada

cadwork.com



Hand in Hand mit der Natur

Für wohngesundes Bauen und gelebten Umweltschutz

CEMWOOD Ausgleichsschüttungen. Das macht sie so einzigartig:

- → **POSITIVE CO2 BILANZ: bindet mehr CO2 als die Produktion verbraucht**
- → **EXTREME LAGESTABILITÄT: setzungssicher, nicht wandernd**
- → **SCHNELLE VERARBEITUNG: ohne Wasser oder Bindemittel**
- → **WOHLFÜHLKLIMA: trittschallmindernd, wärmedämmend, diffussionsoffen**
- → **LANGLEBIGKEIT: resistent gegen Schimmel, Pilze, Fäulnis**
- → **PURE ÖKOLOGIE: chemiefrei und VOC-geprüft, recyclebar und wiederverwendbar**



Hochbelastbare Trockenschüttungen für professionelle Fußböden

www.cemwood.de | info@cemwood.de

Ihre CAD/CAM Lösung: Vernetzter Zeitgewinn

Automatischer Datenfluss bis zur Maschine:
Unser COBUS NCAD ist ein effizientes
Multitalent für Ihren Elemente- und
Holzbau von morgen.

www.cobus-international.de



COBUS ConCept

COMBiLiFT 25 Years
LiFTING INNOVATION

LAGERPLATZ, SICHERHEIT, EFFIZIENZ



MEHR LAGERPLATZ, SICHERHEIT UND EFFIZIENZ MIT COMBILIFT

Combilift ist die perfekte Lösung für die Modul- und Holzbauindustrie.

Unsere Mehrwege- und Seitenstapler, Mobile Portalhubwagen und Portalkräne eignen sich perfekt für den Transport großer oder sperriger Produkte und ermöglichen es Ihnen, Ihre Lagerhaltung, Effizienz und Sicherheit zu maximieren.

KONTAKTIEREN SIE UNS NOCH HEUTE

Um mehr darüber zu erfahren wie Combilift Ihnen helfen kann, jeden Zentimeter Ihres Lagers zu nutzen.

+353 (0) 800 000 5764

combilift.com

Compass Software

www.compass-software.de

FERTIGUNGSORGANISATION UND MASCHINENANSTEUERUNG IM HOLZBAU AUF BASIS VON BTL-DATEN



Mit mehr als 30 Jahren Erfahrung liefern wir maschinenneutrale CAM/CNC-Lösungen für den Holzbau. Wir sind Spezialisten auf dem Gebiet der CNC-Ansteuerung.

MES System

Wir liefern die komplette Fertigungsorganisation in der Werkstatt und haben die volle Kontrolle über die Fertigungswege.

BTL-Import

Wir verarbeiten BTL-Daten aus den unterschiedlichsten CAD-Programmen. Andere Schnittstellen sind möglich.

Brettsperrholzverarbeitung

Unsere Plattenoptimierung für BSH garantiert bestmögliche Materialausnutzung bei minimalem Verschnitt.

Staboptimierung

Wir berechnen die optimale Anordnung der Balken in dem Stab, sodass möglichst wenig Restmaterial entsteht.

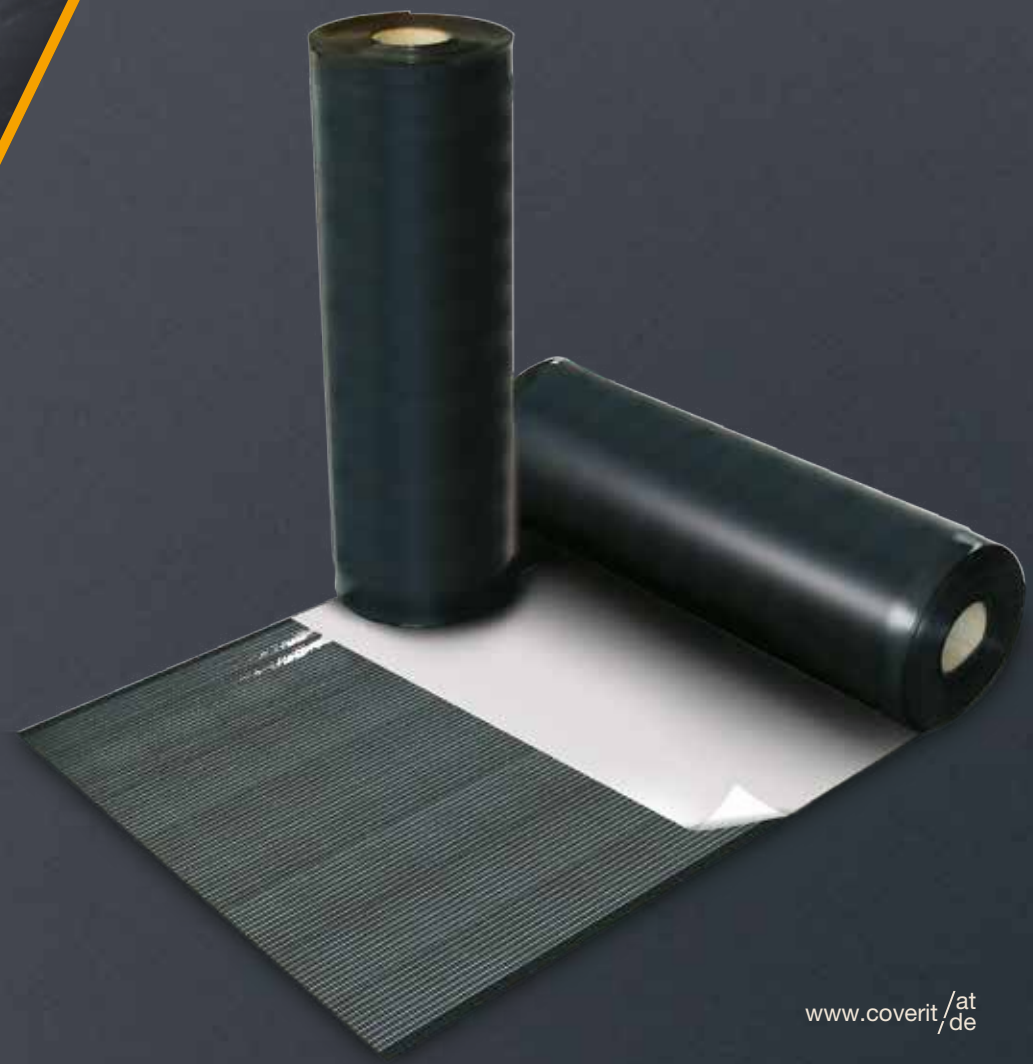
Wir können Maschinen der unterschiedlichsten Hersteller und unterschiedlicher Generationen in einem System miteinander verknüpfen und in Fertigungslinien zusammenarbeiten lassen.

COVERIT

NovoProof®

DA-SK

Dachbahnen mit Glasgewebe-kaschierung und hochwertiger Selbstklebeschicht zur rationellen Sofortverlegung auch unter +5° C



www.coverit.at/de



DAW
DEUTSCHE AMPHIBOLIN-WERKE VON ROBERT MURJAHN

BOOST YOUR PERFORMANCE

Maßgeschneiderte Lösungen zur Steigerung von Effizienz und Prozesssicherheit in der industriellen Vorfertigung von Gebäuden.

PREFABSOLUTIONS
BOOST YOUR PERFORMANCE

www.prefab-solutions.de

Powered by:

CAPAROL
alsecco FASSADENKOMPETENZ
DISBON

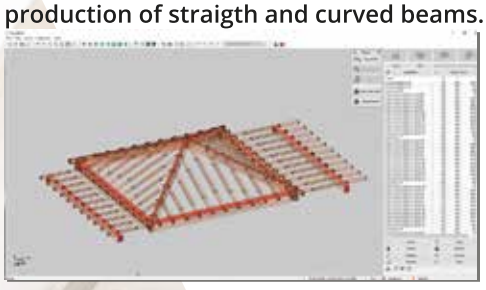
BESUCHEN SIE UNS AUF DEM **STAND EG023.**
GEMEINSAM MIT **SYNTHESA** SIND WIR FÜR SIE DA.
WIR FREUEN UNS AUF SIE!

SYNTHESA

WOODWORKING SOFTWARE SOLUTIONS

EasyBEAM

5 axis CAD/CAM software solution for the production of straigth and curved beams.



EasyWALL

5 axis CAD/CAM software solution for panel production of any size.



EasyWOOD

5 axis CAD/CAM software solution for woodworking using CNC.



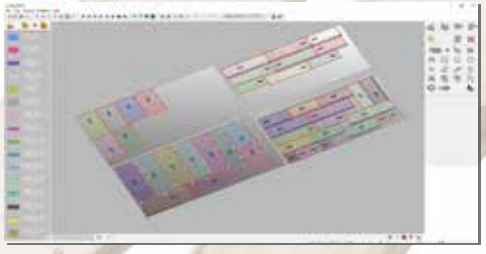
XDESIGNPRO

The specific software solution dedicated to furniture and interior design.



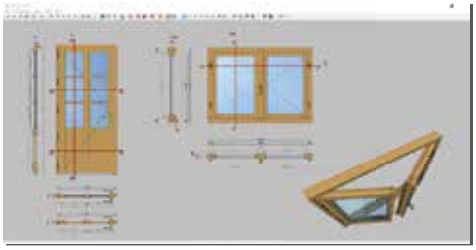
Nesting

Easily optimize nesting projects by reducing material waste and processing times.



PowerWIN

Software solution for parametric design and production of windows and doors.



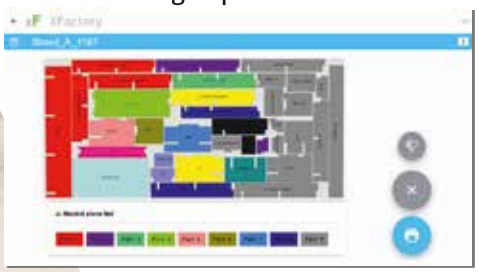
PowerSTAIRS

Software solution for parametric design and production of standard and custom stairs.



XFactory

Web-based solution for the management and monitoring of production facilities.

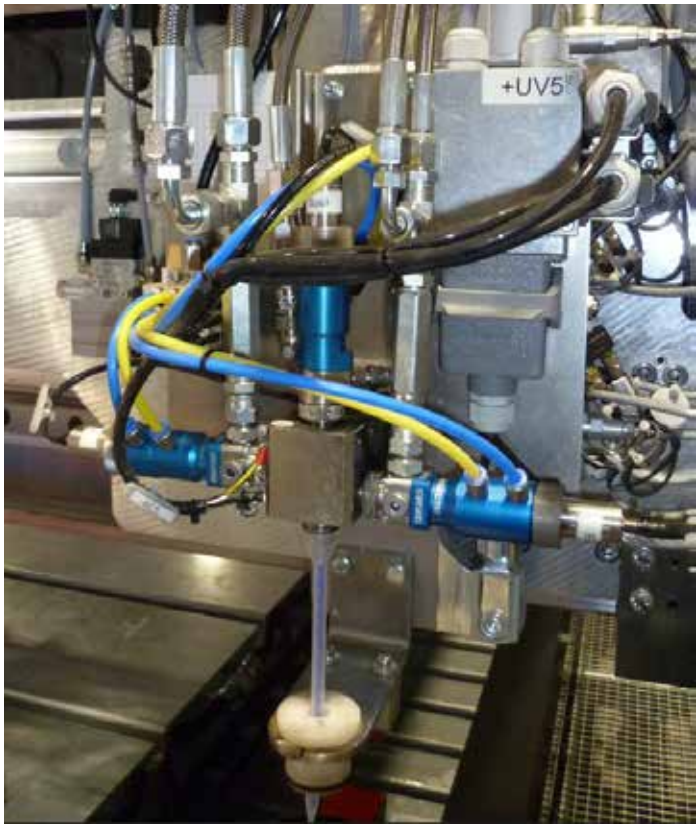


DDX Software Solutions | info@ddxgroup.com | www.ddxgroup.com

Unternehmen

Die DEKUGROUP ist ein international operierendes Unternehmen, welches durch seine drei Bereiche DEKUTEQ, DEKULIFE und DEKUPRO sehr breit, sicher und zukunftsorientiert strukturiert ist. Mit einen halben Jahrhundert Know-how, Erfahrung und Wachstum genießt das Unternehmen größtes Ansehen bei seinen Kunden. Alles frei nach dem Motto „Made in Bavaria“ - Entwickelt, konstruiert und gefertigt in Bayern – genutzt auf der ganzen Welt.

DEKUTEQ:
Dosier- und Mischanlagen zu entwickeln, die unseren Kunden zu klaren Vorteilen verhelfen, ist die Mission, mit der DEKUTEQ Anlagen konstruiert. Diese Einstellung steht im Fokus unseres gesamten Tuns. Unsere Kunden spüren das jeden Tag, an dem Sie ihre DEKUTEQ Anlage erfolgreich im Einsatz haben. Perfekt abgestimmt für Ihren Einsatzbereich. DekuTeq hat die Lösung für Verarbeitung von MUF, Polyurethan, Epoxid, Methacrylat, PVAC und Polyester Systeme.



Betonhohldecke **trifft Holz**wand

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.

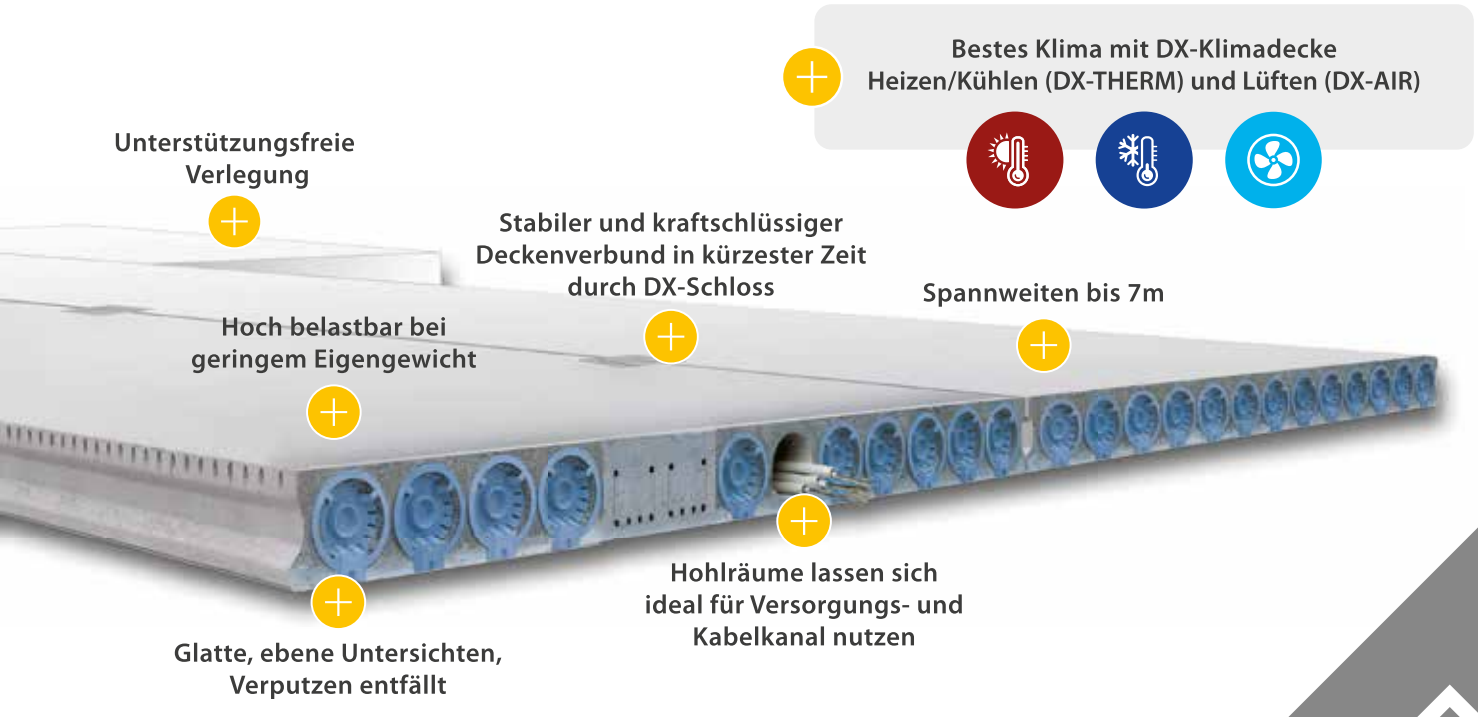
So entsteht in kürzester Zeit ein extrem stabiler und kraftschlüssiger Deckenverbund. Die Decke ist sofort belastbar und begehbar. Zudem erfüllt die innovative DX-Decke alle Anforderungen an Feuerschutz, Belastbarkeit und Luft- und Trittschalldämmung mit Bestwerten.

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).



Mehr auf **www.dennert-hybridbau.de** oder Info-Line **09552 71-148**
Dennert Baustoffwelt GmbH & Co. KG, Veit-Dennert-Str. 7, 96132 Schlüsselfeld

design to production

we master complexity







Beratung

BIM & DfMA
Holzbau
Digitale Fabrikation

Planung

Design-Optimierung
Parametrische Planung
AVOR & Fertigungsdaten

Software

Planungstools
CAD/CAM-Plugins
Konfiguratoren

Besuchen Sie uns am IHF 2022 Innsbruck
an unserem Stand DG050 im Erdgeschoss

Design-to-Production GmbH
Seestrasse 78
CH-8703 Erlenbach/Zürich

T +41 (44) 914 74 91
www.designtoproduction.com
info@designtoproduction.com

ROCKWOOL – der starke Partner im Holzbau

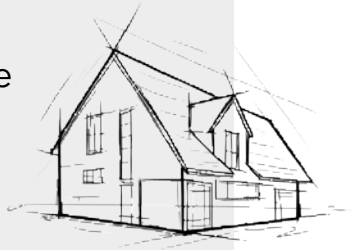
Steinwolle bietet zahlreiche Lösungen für die Dämmung im Holzbau, denn Steinwolle ist sicher, nachhaltig und ökologisch.

BY NATURE.



ROCKWOOL Steinwolle ist …

- in vielfältigen Anwendungen im Holzbau einsetzbar
- die ideale Brandschutzlösung im Bereich Dämmstoffe
- nichtbrennbar, A1, Schmelzpunkt > 1000 °C
- schallschutztechnisch optimal für den Holzbau
- nachhaltig und recycelbar mit Rockcycle®



ROCKWOOL®

www.rockwool.de/holzbau

DFG Deutsche Fundamentbaugesellschaft part of WINKELMANN FOUNDATION SCREW

Spezialist für das Bauen mit Holz

Pfahlbau und Holz statt Beton!

Ein Haus ohne Baustelle mit Schraubpfahlfundamente

So beginnt schon beim Fundament das Bauen der Zukunft, nachhaltig und ressourceneffizient! Schraubpfahlfundamente mit seinem 100% Materialkreislauf sind umweltschonend, kostengünstig und stehen für gesundes, klimagerechtes und ökologisches Bauen und Wohnen und sind beispielhaft für die Anpassung an den Klimawandel. Die Auswahl ressourcensparender Baumaterialen spielt eine nicht zu unterschätzende Rolle. Fundamentbau nach DIN EN 12699/2015 D neue Fassung, statischer Nachweis, Testverfahren nach EURO COD 7 DIN 1054/2010 EA-Pfähle.

Nachhaltiger Fundamentbau für wohngesundes Bauen und gelebten Umweltschutz – ohne Baustelle – ohne Beton!

Wir sind für **Nachhaltigkeit**

Wir legen besonderen Wert auf Klima- und Umweltschutz – bei unseren Projekten und bei unserem alltäglichen Handeln. Weitere Informationen zu unseren Aktivitäten in Sachen Nachhaltigkeit finden Sie in unserer Homepage.



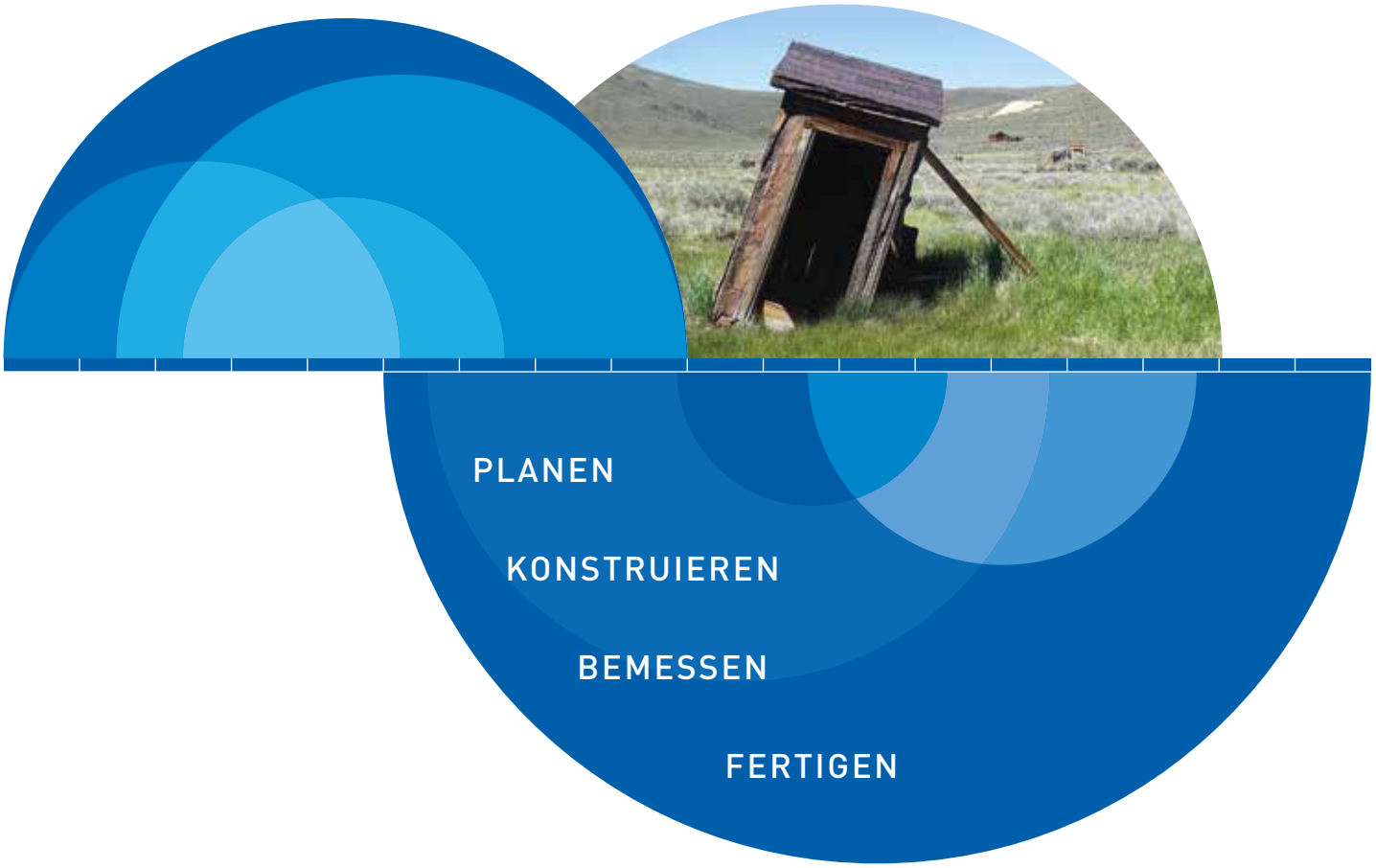



www.schraub-pfahl-fundament.de
info@deutsche-fundamentbau.com
+49 9971-80 90 13-0

Deutsche Fundamentbaugesellschaft mbH · Schmitzdorfer Str. 2 a · D 93482 Grafenkirchen


DHV
Deutscher
Holzfertigbau-
Verband e.V.
Bauen
mit Holz:
Gemeinsam
MEHR erreichen.
▶ Werden Sie jetzt
Mitglied im DHV
www.d-h-v.de

Dietrich's



Sie haben die Idee, wir das Werkzeug.

Einfach stabil.

Die DC-Statik ist unser umfassendes Werkzeug für die Bemessung von Holzbaukonstruktionen. Klingt gut, aber was genau haben Sie davon?

Durch die dialoggeführte Software erstellen Sie im Handumdrehen statische Vorbemessungen und prüffähige Nachweise. Und das für alle Bauteile, Konstruktionen und Holzbauanschlüsse sowie deren Befestigung auf Punkt- oder Streifenfundamenten. Wenn Sie möchten, bekommen Sie zusätzlich auch einen ausführlichen Brandschutznachweis!

Wollen Sie noch mehr? Mit der Gebäudeaussteifung stellen Sie sicher, dass optimierte Holzrahmenbauten auch extremen Windlasten standhalten. Einfach stabil eben.

Genau das ist Ihr Nutzen: Wir helfen Ihnen bei der Umsetzung Ihrer Ideen!

Holzbau ist unser Programm.
Neugierig? Besuchen Sie uns auf dietrichs.com
oder schreiben Sie uns: experten@dietrichs.com

3D-CAD/CAM Software

dietrichs.com

BTLx – VOLLAUTOMATISCHE MASCHINENANBINDUNG

NC-HOPS®

einfach » parametrisch » automatisieren

MIT DER BTLx SCHNITTSTELLE VON NC-HOPS VOLLAUTOMATISIERT VERARBEITEN. FÜR ALLE GÄNGIGEN CAD HOLZBAU-PROGRAMME.

BTLx-Import für NC-HOPS©

Alle gängigen Holzbau CAD-Programme können heute das weit verbreitete und **standardisierte Ausgabeformat BTLx ausgeben.**

Mit der NC-Hops/BTLx Schnittstelle von direkt cnc-systeme können sie die BTLx Daten **vollautomatisch aus dem CAD über das NC-Hops an beliebige Maschinen transferieren.** Die BTLx Schnittstelle analysiert automatisch die BTLx Dateien und **importiert diese so intelligent,** damit die Daten danach in der gewohnten **NC-HOPS-Welt mit all ihren Möglichkeiten zur Verfügung stehen.** Die automatisch vergebenen Bearbeitungen können so **direkt z. B. im Block in das Nesting-Modul betterNEST importiert werden.** Natürlich ist bei Bedarf jederzeit – wenn gewünscht – eine manuelle Anpassung möglich. Aus betterNEST kommen die Daten wieder direkt an die Maschine. Sie können ganze Bauvorhaben mit unterschiedlichen Materialien importieren, sortieren und an die beliebige/n Maschine/n übergeben.

Die Bearbeitungen werden **automatisch materialspezifisch ausgegeben.** Dabei stellt NC-Hops Zusatzanforderungen wie z. B **ausrissfreie Qualität zur Verfügung.** Der automatische Import eignet sich besonders für Plattenabbund, Beplankungen oder CLT. Aber auch Stabbauteile gehen vollautomatisch in die Verarbeitung. Des Weiteren können ebenso beliebige andere Bauteile wie z. B. Treppen, Türen, Möbel oder auch Fenster durch die BTLx Schnittstelle von NC-Hops laufen.

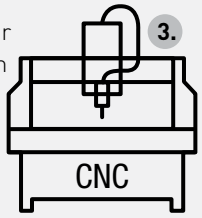
Wie BTLx den Workflow vereinfacht



1. BTLx-Import für NC-HOPS® ermöglicht **vollautomatische Übernahme** von Teilen aus CAD Programmen.

2. **Automatisch geschachtelt** mit BetterNest®.

3. **Übergabe** aller Bearbeitungen auf die CNC-Maschine.



Unsere Kunden verarbeiten

- CLT/BSP/BSH
- OSB, Spanplatten, MDF
- Zementgebundene Platten
- Gipskarton
- Dämmstoffe
- Putzträgerplatten
- Massivholz und Dreischichtplatten
- Alu bzw. Di-Bond Platten
- Fassadenplatten/HPL

Unsere Kunden fertigen vollautomatisch mit BTLx-Daten

- Beplankungen bzw. Plattenabbund/Platten-Nesting
- CLT/BSP/BSH Abbund
- Fassadenplatten
- Möbel
- Türen
- Treppen
- Fenster
- Einzelplatten und ausrissfreier Stababbund
- Wintergärten uvm. ...

direkt cnc-systeme gmbh
Erich-Klink-Straße 11
D-73553 Alfdorf-Bonholz
Tel. +49 (0)7172/937700
info@direkt.net
www.direkt.net

direkt cnc-systeme gmbh · 07/2023

Schwerpunktausgabe »Schweiz«

Holz-Zentralblatt

Deutscher Holz-Anzeiger · Deutsche Holzwirtschaft · Der Holzkäufer

UNABHÄNGIGES ORGAN FÜR DIE FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT

Deutsche Holz-Zeitung · Deutscher Holzverkaufs-Anzeiger

Freitag, 20. Oktober 2023 · 149. Jahrgang · Nr. 42

Heute mit

Wald klimapositiv bewirtschaften und dafür werben



Zu den Mitgliedern des Arbeitskreises gehört auch die Firma Holz Ziegler aus Oberkirch. Mit momentan rund 20 Firmen-UFA ist das Unternehmen vor allem im Handel mit Sägenebenprodukten tätig. Ein neuer Schwerpunkt des Unternehmens wird vollständig für klimapositive Waldwirtschaft.

Fotos: J. Krauhausen

Holz-Zentralblatt

Deutscher Holz-Anzeiger · Deutsche Holzwirtschaft · Der Holzkäufer

UNABHÄNGIGES ORGAN FÜR DIE FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT

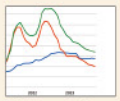
Deutsche Holz-Zeitung · Deutscher Holzverkaufs-Anzeiger

Freitag, 27. Oktober 2023 · 149. Jahrgang · Nr. 43

Heute mit

Impulse aus Italien

Gut 20000 Besucher zur »Sicam« in Pordenone



Erzeugerpreisen

Holzindustrie

Mehr Interesse an der »Nadelholzkonferenz«

Am 12. Oktober fand in Wien die 71. „Internationale Nadelholzkonferenz (International Softwood Conference – ISC)" statt. Mit über 330 Teilnehmern aus 33 Ländern war die Veranstaltung deutlich stärker besucht als in den Vorjahren. ▶ Seite 723

Holzhandel

Jordan eröffnet neues Lager für Holzbau

Der Holzgroßhändler Jordan mit Zentrale in Kassel (Fulda) hat am 13. Oktober seine neue Lagerstelle für Holzbau in Gewerbegebiet Kassel-Niederzwehren eröffnet. ▶ Seite 720

Forstwirtschaft

Keine Pflicht zum Vorratsaufbau

Thema des „AGDW-Waldsymposiums" am 18. Oktober in Berlin waren die Fortsetzung der GAK-Förderung und die Pläne für ein neues Bundeswaldgesetz. ▶ Seite 716

Parkett-Absatz geht zurück

Folge geringerer Bautätigkeit in europäischen Ländern

Studie: Geplante Duldung

Verbände der Waldbesitzer legen Rechtsgutachten zu dem

Holz-Zentralblatt

Deutscher Holz-Anzeiger · Deutsche Holzwirtschaft · Der Holzkäufer

UNABHÄNGIGES ORGAN FÜR DIE FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT

Deutsche Holz-Zeitung · Deutscher Holzverkaufs-Anzeiger

Freitag, 3. November 2023 · 149. Jahrgang · Nr. 44

Heute mit Special zum 17. »Branchentag Holz«

Heute mit



Branchentag Holz

Holzindustrie

Geschäftslage bessert sich höchstens leicht

Obwohl sich der Anteil der Nadelholzsägewerke mit schlechter Geschäftslage im Oktober um rund 10 Prozentpunkte verringert hat, bleibt die Lage für den überwiegenden Teil der Branche – knapp 60 % – schlecht. ▶ Seite 730

Holzhandel

Großhandel agiert zurückhaltend

Nahezu jeder zweite Großhändler von Rohholz und Schnittholz will in den kommenden drei Monaten im Einkauf den Rotstift ansetzen, so ist das Konjunkturbarometer des Ifo-Instituts für Oktober zu entnehmen. ▶ Seite 732

Forstwirtschaft

Allenfalls marginale Lageaufhellung

Die allgemeine Geschäftslage der Forstbetriebe in Deutschland hat sich in den letzten Monaten nur geringfügig verändert. ▶ Seite 731

Neue VDM-Spitze

Leo Lübke tritt in die väterlichen Fußspuren

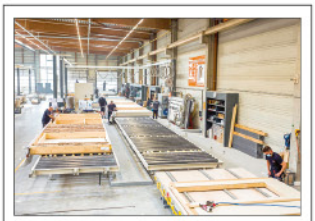
„Helmut Lübke hinterließ ganz große Spuren. Es wird für ihn einen Nachfolger geben, aber keinen, der es so einzigartig gemacht hat, wie Helmut Lübke", sagte im Herbst 2006 Dirk-Uwe Klaas, damals Hauptgeschäftsführer der Verbände HDH und VDM, und sprach damit vielen Branchenvertretern aus der Seele. Lübke war am 3. Oktober 2006 auf einer Tour an Kilimandscharo in Tansania – er war seiner seiner Lebensträume – im Alter von 70 Jahren einem Herzversagen erlegen. 17 Jahre danach folgt ihm sein Sohn, Leo Lübke, in das Amt des Präsidenten des Verbands der Deutschen Möbelindustrie (VDM) nach.

Leo Lübke wird direkter Nachfolger von Elmar Duffner. Die Mitgliederversammlung wählte den 59 Jahre alten Unternehmer am 26. Oktober in Frankfurt einstimmig. Lübke leitet als geschäftsführender Gesellschafter den Polstermöbelhersteller Cor Sitzmöbel Helmut Lübke GmbH & Co. KG. Dem VDM-Präsidium gehört er bereits seit 2011 an, seit 2020 fungierte er als Vizepräsident. Zudem sitzt er dem Verband der Deutschen Polstermöbelindustrie vor. Seine Antrieb ist klar: drei Jahre, „Ich freue mich auf diese Aufgabe und sehe es als große Ehre an, auf dieser besonderen Position für eine besondere Branche arbeiten zu dürfen. Mit ein bisschen Respekt und Ehrfurcht schaue ich deshalb auf diese Aufgabe. Ich suche schließlich in einer langen Reihe namhafter Persönlichkeiten, zu denen viele Jahre auch mein Vater gezählt hat", sagte Lübke. Sein Vater Helmut war von 1997 bis 2006 VDM-Präsident.

Für ihn sei es wichtig, so Leo Lübke, „die Besonderheit und Heterogenität dieser schönen Möbelbranche nach innen und außen zu vertreten". Als führende Möbelnation in Europa könnten die deutschen Produzenten mit breiter Brust auftreten und stolz auf ihre Produkte „Made in Germany" sein. „Möbel sind ein emotionales Produkt und diese Emotionalität müssen wir vermitteln." In seiner neuen Funktion will er die Sichtbarkeit der Möbelindustrie in der Öffentlichkeit und bei der Politik weiter erhöhen. Dabei setzt er auch auf die in diesem Frühjahr gemeinsam mit dem Handelsverband Möbel und Küchen (BVDM) gestartete Branchenimageinitiative „Möbel in Deutschland". Darüber hinaus gelte es, den Export der Branche und das Thema Nachhaltigkeit zu forcieren. Lübke danke zudem seinem Vorgänger: „Elmar Duffner hinterlässt große Fußspuren und ein hervorragend bestelltes Feld. Er hat diesen Verband mit professioneller Hand und Weitblick durch eine von besonderen Herausforderungen geprägte Zeit geführt und die Branche weiter zusammenwachsen lassen." Der 63 Jahre alte Duffner war im Herbst 2020 zum zweiten Mal zum VDM-Präsidenten gewählt worden. Er hatte das Amt schon von 2008 bis 2014 innegehabt.

VDM-Geschäftsführer Jan Kurth bezeichnete den neuen Präsidenten als erfahrenen und wirklich visionären Unternehmer. „Er verfügt über tiefe Einblicke in die Branche und besichert unsere Verbandsarbeit schon seit vielen Jahren." Nach einer Bankausbildung studierte Leo Lübke Industriedesign in Kiel. Seit 1994 führt er den in Rheda-Wiedenbrück ansässigen Polstermöbelhersteller Cor (Umsatz 2022: 50 Mio. Euro), den sein Vater 1954 gegründet hat. Bis zum Verkauf im Jahr 2014 leitete er zudem den Markenverbund produzieren Interliübke.

Unterstützung erhält Lübke von den zu seinen Stellvertretern gewählten Präsidiumsmitgliedern Andreas Wagner (Rotpunkt Küchen) und Markus Wemann (Dossier Möbel-Industrie). Neu in das Präsidium berufen wurden Sabine Brockschneider (Bauformat Küchen), Christine Diez-Ramp (C. Dieckamp Schlafraumsysteme), Katharina Hartmann (Hartmann Möbelwerke) sowie Martin Kuss (Schramm). „Ich freue mich sehr über die – klugerweise – Berücksichtigung unseres Präsidiums durch drei engagierte Unternehmerinnen", dankte Lübke. Großen Dank ging an Michael Stöhl (Rauch Möbelwerke), der nach 17 Jahren aus dem VDM-Präsidium ausscheidet, sowie an Dirk Kneipka (Häcker Küchen), der sich ebenfalls nicht zur Wiederwahl stellte.



Berufsgenossenschaft fasst Zimmereien und Fertighausbauer zusammen

Die aktuellen Beitragsbescheide der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU) bringen für die Unternehmen des Holzerbaus eine deutliche Beitragserhöhung, so wird grob von einer Verdoppelung berichtet. Hintergrund ist der „Gefahrtarif", in dem offenbar die „Holzfertigbauer" der Tarifstelle 110 „Zimmererarbeiten" zugeordnet werden. Diese Zuordnung ist für fachleute nicht sachgerecht, da die großformatigen Gebäudeteile in den Werken der Fertighaushersteller in geschlossenen Hallen witterungsunabhängig hergestellt werden. Ob die Elemente tragend oder nichttragend sind, spielt für die Herstellung keine Rolle. Über den Sachverhalt und die Reaktion der Branchenverbände berichtet Wolfgang Schäfer auf S. 727. Quelle: BDF/Fingerhaus

Auftragseingänge im Bauhauptgewerbe sinken bis August um real 7,6 %

In den ersten acht Monaten dieses Jahres lagen die Auftragseingänge im Bauhauptgewerbe inklusive und preisbereinigt real um 7,6% unter und nominal um 1,9 % über dem gleichen Vorjahreszeitraum, wie das Statistische Bundesamt Ende Oktober mitteilte. Bis einschließlich August sanken die Umsätze im Vergleich zum Vorjahreszeitraum real um 4,0 % und stiegen nominal um 5,4 %.

Der reale (preisbereinigte) Auftragseingang im Bauhauptgewerbe lag im August gegenüber dem Juli kalender- und saisonbereinigt um 10,8 % gestiegen. Das ist der zweite deutliche Anstieg in Folge. Betrachtet man nur den August, ist der reale, kalenderbereinigte Auftragseingang im Bauhauptgewerbe gegenüber dem August des Vorjahres um 17,5 % gestiegen. Dabei stieg der Auftragseingang im Hochbau um 0,9%, im Tiefbau um 34,5 %. Aufgrund der höheren Baupreise lag der nominale (nicht preisbereinigte) Auftragseingang im Bauhauptgewerbe im August 2023 um 21,9 % über dem Vorjahresniveau.

Die Zahl der im Bauhauptgewerbe tätigen Personen war im August dieses Jahres 1,2 % größer als im August 2022.

Deutscher Holzbau entwickelt sich in einem schwierigen Umfeld gut

Insgesamt rückläufige Baugenehmigungen, aber steigende Holzbauquote

Mitglieder des Verbands Holz.bau Deutschland trafen sich am 20. Oktober zu einer Bezirksversammlung in Munzingen bei Freiburg im Breisgau. Hinsich lich der Einschätzung der aktuellen Situation des Holzbaus herrscht Einigkeit: in einem schwierigen Umfeld entwickelt sich der Holzbau gut. Und auch die Aussichten sind insgesamt längerfristiger gesellschaftlicher Entwicklungen und politischer Unterstützung gut.

„Die Auftragsbücher sind gefüllt und die Stimmung in den Betrieben ist gut", fasste der Vorsitzende, Peter Aicher, die aktuelle Marktlage im Holzbau zusammen. „Wenngleich die Nachfrage nach Ein- und Zweifamilienhäusern zurückgeht, so wird der Holzbau durch zunehmende Modernisierungsmaßnahmen gestützt. "Zu den Modernisierungsmaßnahmen zählt Aicher neben energetischen Sanierungen auch Aus- und Umbauten bestehender Gebäude. „In Zukunft wird das serielle Sanieren und modulares Bauen im Holzbau eine immer größere Rolle spielen", zeigte er sich überzeugt.

Zwar ist die Zahl der Baugenehmigungen im Ein- und Zweifamilienhausbau rückläufig, aber der Anteil der Holzbauweise steigt. Das belegt der Verband mit Zahlen des Statistischen Bundesamts und der Heinze Marktforschung zu den Baugenehmigungen im ersten Halbjahr. Beim Bau von Mehrfamilienhäusern (MFH) ist die Holzbauquote auf 6% gestiegen (2022: 5,3%). Auch der Anteil der vorwiegend mit Holz gebauten Ein- und Zweifamilienhäuser ist weiter gestiegen und liegt bei durchschnittlich 25,4% (2022: 24,5%).

Bei Nicht-Wohngebäuden liegt die Holzbauquote aktuell bei 22,1%.

Durch das steigende Umweltbewusstsein und das wachsende Interesse an nachhaltigem Bauen eröffnen sich der Holzbau weiter an Bedeutung gewinnen und die technologische Entwicklung im Bereich des digitalen Bauens und der Vorfertigung begünstige den Holzbau, ist man im Verband überzeugt. Und auch von politischer Seite kommt Unterstützung für den Holzbau. Der Verband verweist dabei auf den im Juni vorgelegten Entwurf einer Bundes-Holzbauinitiative der beiden Bundesministerien für Bauen und Landwirtschaft, durch die bis 2030 der Einsatz von Holz wesentlich verbessert und die Holzbauquote erhöht werden soll.

Pelletproduktion steigt weiter

Die deutschen Pelletproduzenten haben im dritten Quartal dieses Jahres erneut einen Rekordwert aufgestellt, indem sie eine Gesamtproduktion von rund 985000 t erreichten. Das bedeute eine Steigerung von 1,9 % im Vergleich zum vorherigen Quartal (965 000) und eine Zunahme von 3,9 % gegenüber dem Vorjahresquartal (946000 t). Das berichtet das Deutsche Pelleteinstitut (Depi).

Der Großteil der Pelletproduktion wird im Inland verbraucht. Der Exportanteil fiel im dritten Quartal mit 11,7% sogar deutlich geringer aus als in den ersten beiden Quartalen des Jahres (19,4% und 15,1%). Der Export-Wert liegt ebenfalls unter dem des Vorjahresquartals (13,1%) und dem des Vorjahresschnitts (12,6%).

Mit 91,9% erreichte der Anteil an Sägerestholz im dritten Quartal den höchsten Wert seit Anfang 2022. 99,2% des eingesetzten Holzes waren Nadelholz.

www.holz-zentralblatt.com

ecoholz
ENTWICKELN COACHEN OPTIMIEREN



Unabhängige Beratung

Wir unterstützen dich in der strategischen Weiterentwicklung deines Unternehmens zu mehr Wertschöpfung.

Erfolg ist Teamarbeit. Deshalb fördern wir die Kompetenzen deiner Mitarbeitenden, damit sie die eigenen Arbeitsplätze und Prozesse selber nachhaltig optimieren.

So entwickeln sich die Mitarbeitenden zu Unterstützern und leisten in der Entwicklung des Unternehmens den entscheidenden Beitrag.

Die aktuellen Themen in Deutschland, Österreich und der Schweiz:

- Layout-Planung, Unternehmenserweiterung
- Materialfluss und Logistik verbessern
- Shopfloor Management aufbauen
- Mitarbeitende führen
- Fertigungskonzepte ändern
- Auftragssteuerung verbessern
- Ressourcen Management anpassen

Weitere Informationen auf unserem Stand im Erdgeschoss EG021
oder www.ecoholz.ch oder +43 670 6058558

ECO-TIMBER
Abbund und Holzbau für Profis.
Wir machen mehr aus Ihrem Holz.

ECO-TIMBER GmbH & Co. KG
Franz-Kühne-Str. 6
37308 Heilbad Heiligenstadt

Tel.: +49 (0) 3606 502310-0
Mail: info@eco-timber.de

ECO-TIMBER ist eins der modernsten Holzbau- und Abbundzentren in Deutschland, mit umfangreichen Kapazitäten und vor allem einem professionellen Serviceangebot. Alles aus einer Hand, auch im Holzbau! Die Kombination des hergebrachten Wissens mit modernster Technik zeichnet den innovativen Holzbau aus. Holz steht für Umweltverträglichkeit, niedrige Energie-Bilanzen, Langlebigkeit, Flexibilität und kürzere Bauzeiten. Wir freuen uns auf ein Kennenlernen und die erfolgreiche Zusammenarbeit



Abbund
in drei Quailtäten



Holzelementbau
zertifiziert und individuell



BauBuche
Abbund und Beschichtung

siniat



WETTERSCHUTZ UND VERARBEITUNG LEICHT GEMACHT: **WEATHER DEFENCE**

Unsere innovative Alternative zu zementgebundenen Platten zum Beispiel im konstruktiven Holzbau

www.siniat.de

etex inspiring ways of living

FORUM HOLZBAU INTERNATIONAL

BESUCHEN SIE UNS
EG 051/052

Eurotec®

Der Spezialist für Befestigungstechnik

NEU
in unserem Programm

KONSTRUX 13 MM E12



STAHLHART UNTER JEDER BEDINGUNG

HÄLT SELBST AGGRESSIVEN UMGEBUNGEN STAND



NKL 1–3

T5

C5

CRC III

KONSTRUX A4

FÜR HOLZ-HOLZ-VERBINDUNGEN

- Austenitischer Edelstahl A4 1.4401
- Hohe Korrosionsbeständigkeit
- Einsetzbar in den Nutzungsklassen 1 bis 3 nach DIN EN 1995 - Eurocode 5
- Geeignet für gerbstoffhaltige Hölzer und salzhaltige Atmosphären
- Rostbeständig und bedingt säurebeständig
- Gute Beständigkeit in gemäßigt aggressiven, nicht chlorhaltigen Umgebungen

ETA CE
Europ. Techn. Bewertung
European Technical Assessment
ETA-11/0024

EDELSTAHL® Rostfrei

WEITERE INFORMATIONEN

euroTECH HANDLING



Komponenten



Hebegeräte

euroTECH bietet zukunftsorientierte Handling und Transportlösungen im Bereich der Vakuumtechnik. euroTECH entwickelt und produziert kundenspezifische Vakuumsysteme und -komponenten für automatisierte Handhabungsaufgaben aus einer Hand.

Mit dem euroTECH-Baukastensystem und euroTECH-Service ist eine flexible Anpassung der Komponenten an die jeweiligen Kundenwünsche sowie ein schnelles kostengünstiges Austauschen von Ersatzteilen möglich.



Anlagenbau

Maybachstr. 7
D-72348 Rosenfeld | Germany
T +49 7428 93912-0
info@etvac.de
www.etvac.de

Die clevere Art, Lasten zu heben

X-fix
die Holz/Holz Verbindung

FEHR BRAUNWALDER
BEFESTIGUNG + WERKZEUGE

DAS perfekte Verbindungssystem für unterschiedlichste Holzelemente

X-fix GREENETH

Wand-, Decken- und Dachelemente werden ohne weitere Hilfsmittel stabil und sicher zusammengespannt. Herkömmliche Schrauben werden nicht benötigt und die formschlüssige Holz/Holz-Verbindung schafft exakt parallele Linien.

- Einfache Montage sichert Zeitersparnis und geringe Arbeitskosten
- Zieht dank der Keilform auch grossformatige Deckenplatten selbstständig zusammen
- Kein Balkenzug bei Deckenverbindungen nötig
- Keine zusätzliche Verklebung notwendig



Umfassend geprüft an der Technischen Universität Graz
und an der University of Northern British Columbia (CAN)

holzbauschweiz
Leistungspartner

„S'Bärahus" Feldkirch (Bild: Rhomberg Bau GmbH)





Detail-Datenblatt

ETA
Europ. Techn. Bewertung
European Technical Assessment

Zürcherstrasse 501 - 9015 St. Gallen - Tel. 071 282 47 77 - info@fehrbraunwalder.ch - www.fehrbraunwalder.ch

FHS Holzbau

Brettsperrholz vom Hersteller

FHS Holzbau GmbH
www.fhs-holzbau.de
kontakt@fhs-holzbau.de
Tel. +49 8641-6970833

Brettsperrholz-Herstellung von der Säge bis zum Abbund plus perfektes Tischler-Handwerk

Diese einzigartige Kombination bietet FHS Holzbau GmbH aus Grassau mit Produktion im tschechischen Veseli (n. L.). Denn bereits seit 25 Jahren produziert die FHS Treppen GmbH auf den über 15.000 m² Hallenfläche Treppen in Holz, Stahl, Edelstahl und Glas. So kann FHS bei Bedarf nicht nur die Werkplanung für Holzbau-Projekte übernehmen, sondern auch im Brettsperrholz-Bereich individuelle Wünsche realisieren. Zudem darf FHS als EN-1090 zertifizierter Stahlbau tragende Stahlteile herstellen und mitliefern.

Exklusive Sichtoberflächen ohne Rissbildung

Ein Highlight der Brettsperrholz-Produktion ist die Exklusive Sichtoberfläche von FHS. Diese ist praktisch rissfrei in nahezu Möbel-Qualität, z.B. in Eiche, Esche, Lärche, Zirbe, Kanadisch Ahorn, Amerikanischem Nussbaum, Altholz uvm. Selbst bei durchgehenden Deckenelementen sind für unterschiedliche Räume verschiedene Exklusiv-Oberflächen möglich.
Dafür wird über einer zum Faserverlauf der letzten Brettlage um 90° gedrehten 3mm Blindfurnierlage in Fichte die 3mm Exklusiv-Decklage um wiederum 90° versetzt aufgeleimt. So kann das Quell- und Schwund- Verhalten der obersten Brettlage nicht zu einer Rissbildung an der Exklusiv-Oberfläche führen. Alle Furnierlagen sind auch Schmalseiten-verleimt.



BSP-Element mit Exklusiv-Oberfläche





Aufbau der BSP Exklusiv-Oberfläche

Integrierte Wand- und Deckenheizung

Warme, geheizte BSP-Wände und Decken: auch das ist mit den Exklusiven BSP-Elementen von FHS möglich. Da die beiden Furnierlagen über der letzten Brettlage nicht tragend sind, können Heizmatten aus Carbon dazwischen eingeleimt werden.
Bei Deckenelementen kann FHS alternativ in einer nicht-tragenden 20mm starken Zusatz-Lage Leitungen für eine wasserführende Heizung (oder Kühlung) verlegen; diese wird dann wiederum von der Blindfurnier- sowie der Exklusiven Decklage abgedeckt und funktioniert wie eine herkömmliche Fußbodenheizung.

Brettsperrholz Fertig-Treppen: Holz statt Beton!

Ein weiteres Produkt der Zusammenarbeit von Brettsperrholz- und Treppenwerk ist die fertig vormontierte BSP-Treppe. Diese ist schnell mit dem Kran in den Bau eingehoben, sofort als Bautreppe begehbar und später mit Stufen und Geländern von FHS ohne erneutes Aufmaß rasch fertiggestellt. Als Treppen-Modul wiederum kommt die BSP-Treppe einschließlich der BSP-Wände für das Treppenhaus komplett vormontiert und eignet sich besonders für Sanierungen im Bestand.

BSP Treppen u. Treppen-Module für Neubau und Sanierung







Gebäude & Treppe aus einer Hand

FHS auf einen Blick:

- **eigenes Brettsperrholz-Werk**
- **Werkplanung, Fertigung, Abbund**
- **Decken, Wände, komplette Gebäude**
- **Exklusiv-Oberflächen (> 20 Holzarten)**
- **externe Statik auf Wunsch**
- **EN-1090 zertifizierter Stahlbau**
- **eigenes Sägewerk**
- **eigenes Treppen-Werk**
- **Treppen in Holz, Stahl, Edelstahl, Glas**
- **Stufen und Geländer für BSP-Treppen ohne erneutes Aufmaß, da CAD-Datei**

fischer

PowerFast II.
Die Holzbauschraube für eine schnelle und flexible Verarbeitung.



Die fischer Holzbauschraube PowerFast II ist die kraftvolle Holzbauschraube für den konstruktiven Holzbau, die durch die Europäische Technische Bewertung ein zusätzliches Plus an Sicherheit garantiert. Die PowerFast II ist durch ihre einzigartige Gewindeform besonders leicht ohne Vorbohren einzuschrauben. Ihr Gewinde reicht bis in die Schraubenspitze und sorgt für einen schnellen Anbiss. Die Schaftfräsrippen und die Hochleistungs-Gleitbeschichtung senken den Eindrehwiderstand und sorgen so für eine kräfte- und akkuschonende Montage. Jetzt testen!

Entdecken Sie das gesamte Schraubensortiment von fischer unter: **www.fischer.de/markenschrauben**

Fixpod

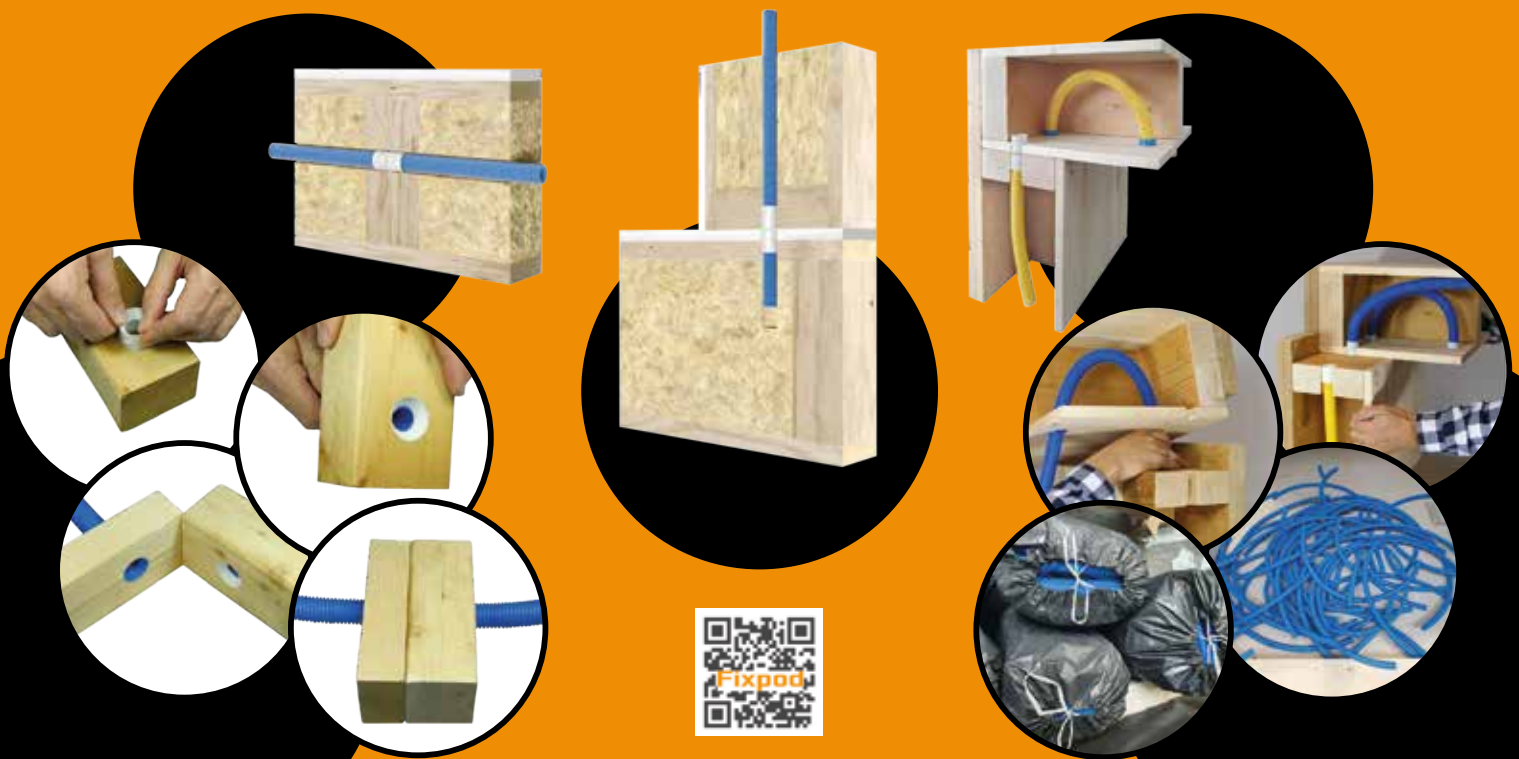
Die innovative Installationslösung für den Holzbau





Die Vorteile auf einen Blick

• Effizientere Prozesse • Arbeitssicherheit • Nachhaltigkeit



www.fixpod.ch

Fixpod GmbH - Randstrasse 3 - CH-8261 Hemishofen

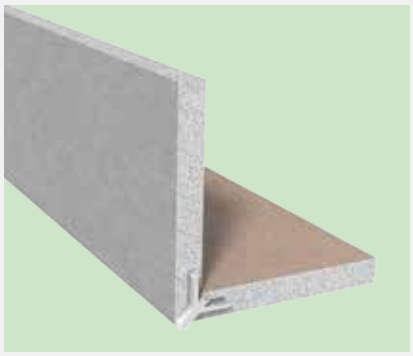
schmitt

simpel. schnell. stabil.

FORUM HOLZBAU INTERNATIONAL

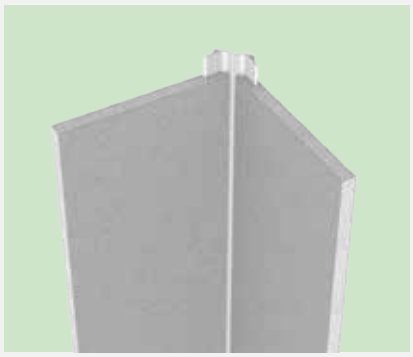
27. Internationales Holzbau-Forum (IHF)
Congress Innsbruck

Stand KU230
29.11. – 1.12.2023



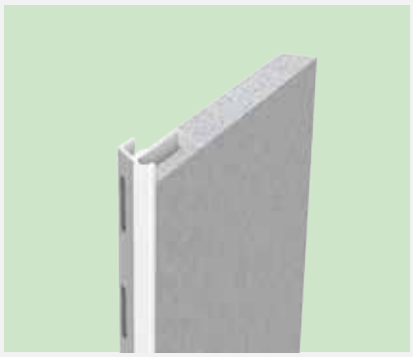
ProTeck

Gipsplatten-Formteil mit integriertem Kantenschutzprofil



PlanoFlex

Formteil mit integriertem Bewegungsfugenprofil



PlateFix

Element mit integriertem PVC-Einputzprofil



Formteilbau Schmitt GmbH & Co. KG

Schönauer Weg 20
97783 Karsbach

Telefon +49 9358 740304-0
Telefax +49 9358 740304-29

info@formteilbau-schmitt.de
www.formteilbau-schmitt.de

ECHTLE

UNSER HOLZ: ASTREIN!



Dreischichtplatten | Fußboden
Massivholzplatten | Täfer
Fassaden | Blockware
Astreine Seiten | u.v.m.

SÄGEWERK ECHTLE KG

Talstraße 12
77787 Nordrach
+49 (0)7838 9559-0
info@echtle-holz.de

www.echtle-holz.de

FORUM WEISSTANNE

PEFC
PEFC/04-32-0004
www.pefc.de



© Stephan Thiele

Luftbild des Fraunhofer-Campus in Braunschweig.

Nachhaltigkeit seit 1946

Das Fraunhofer WKI

Am Fraunhofer WKI betrachten wir eine große Bandbreite nachwachsender Rohstoffe sowie deren ganzheitliche Nutzung von der Produktion bis zum Recycling. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf nachhaltigen Leichtbaulösungen. Zu unserem ganzheitlichen Forschungsansatz gehört außerdem die Entwicklung von werkstofflichen Recyclingverfahren, Lebenszyklusanalysen und die Innenraumluftanalytik.

Nahezu alle Verfahren und Werkstoffe, die aus der Forschungstätigkeit des Instituts hervorgehen, werden industriell genutzt. Zu den Kunden des Fraunhofer WKI zählen Unternehmen aus der Holz- und Möbelwirtschaft, der Bauwirtschaft, der chemischen Industrie, der Verpackungsindustrie und der Fahrzeugindustrie.

Als akkreditierte Prüfstelle nimmt das Fraunhofer WKI Aufgaben der Materialprüfung und Qualitätsüberwachung wahr. Es begutachtet Schadensfälle und berät in Fragen der Schadenssanierung. Die Qualitätssicherung von Holzprodukten und anderen Materialien mittels zerstörungsfreier Verfahren wie Thermographie, Ultraschall oder Computertomographie erweitern das Spektrum des Instituts.

Mit dem Anwendungszentrum für Holzfaserforschung HOFZET® und der Einbindung in die Open Hybrid LabFactory wird aktuell der wichtige und zukunftsträchtige neue Bereich der Faserverbundwerkstoffe systematisch ergänzt und ausgebaut. Gemeinsam mit der Technischen Universität Braunschweig werden im Zentrum für leichte und umweltgerechte Bauten ZELUBA® die Themenfelder Baukonstruktion und lignocellulosehaltige Werkstoffe gestärkt.

Kontakt

Fraunhofer WKI

Tel. +49 531 2155-0
Fax +49 531 2155-334

info@wki.fraunhofer.de

Fraunhofer WKI
Riedenkamp 3
38108 Braunschweig
www.wki.fraunhofer.de

© Fraunhofer WKI
11/2023

WKI ist eine eingetragene Marke der Fraunhofer-Gesellschaft.

Funderplan – 100% Naturprodukt zum Wohlfühlen

- raumseitige Beplankung, statisch wirksam, bauseitig auch im Kleinformat
- frisches Faserholz aus regionaler Forstwirtschaft
- Wohnraumgewinn durch schlanken Aufbau
- formschlüssige fugenlose Verbindung
- schnelles Endlosverlegen
- auf Wohngesundheit geprüft
- QNG–zertifiziert

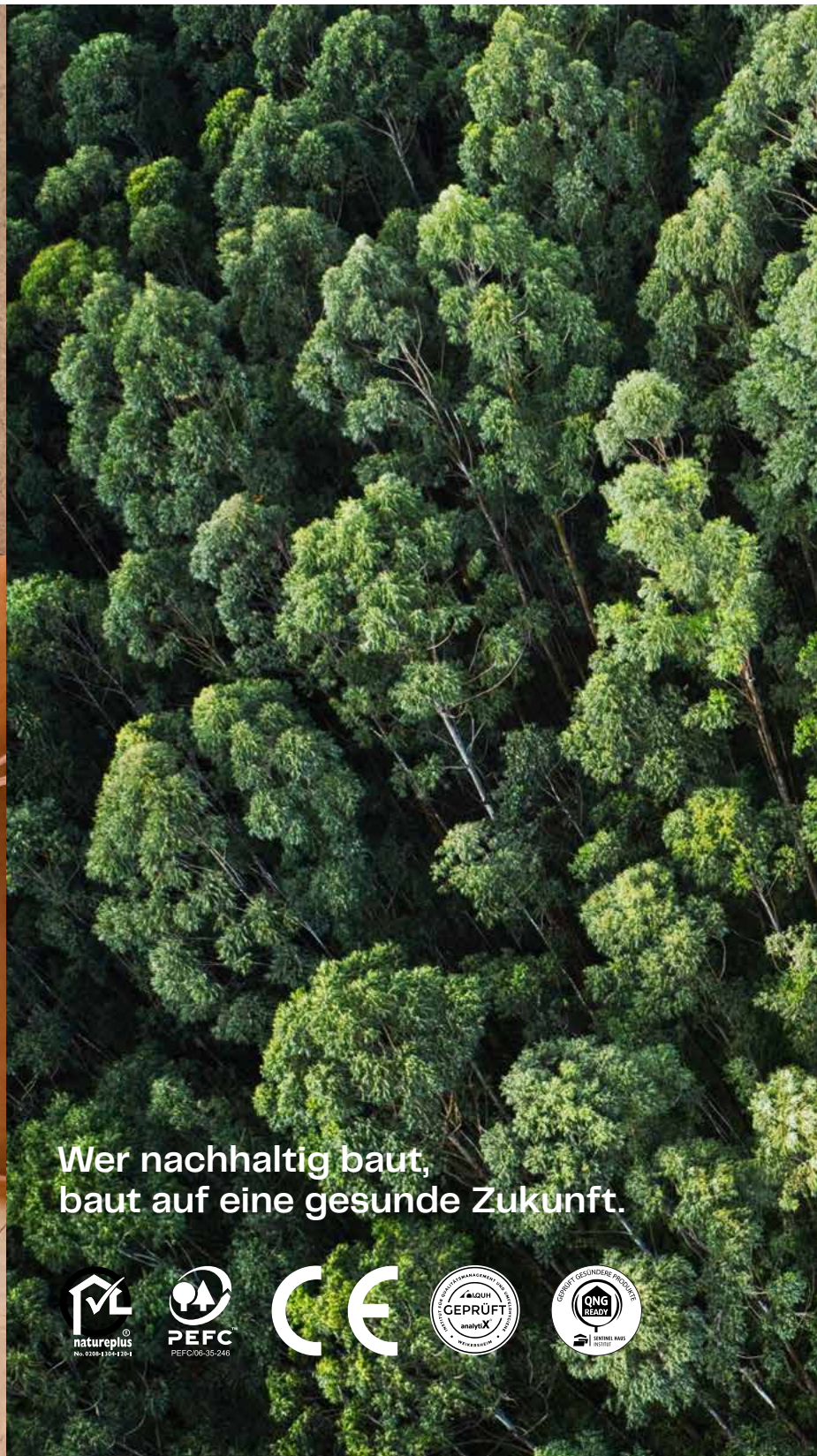
Fundermax
office@fundermax.at
www.fundermax.com

For you to create

Fundermax







**Wer nachhaltig baut,
baut auf eine gesunde Zukunft.**

Gaulhofer

Fenster zum Wohnfühlen

FENSTER DIE SINN MACHEN

Zukunfts-Aussichten ökologisch denken

Wir von Gaulhofer wollen Fenster und Haustüren nach höchsten ökologischen Anforderungen fertigen – dafür gehen wir jeden Tag einen Schritt weiter.

Unser jüngstes Werk in Sachen Nachhaltigkeit und „zurück zur Natur“ ist die „Wilde Sortierung“ bei der Holzart Astfichte. Hier wird der Wald eindrucksvoll spürbar – mit Hölzern aus der Region und ressourcenschonender Produktion.

QUALITÄTS FENSTER
MADE IN AUSTRIA

GERMAN DESIGN AWARD WINNER 2023

www.gaulhofer.com











MIT ALLGEMEINER BAUAUFSICHTLICHER ZULASSUNG

Effiziente Entkoppelung im Holzbau

Komfort ist mehr als nur Mindestschallschutz

Bewährtes **Polyurethan** in Stärke 6 und 12 mm, Breite individuell wählbar



GePi-Connect für schallbrücken-freie Verbindung

Berechnungstool **TimberCalc** für Flankenlagerung im Holzbau



Geprüfte Flakenentkoppelung $\mathbf{K_{ij}}$ bis zu 35 dB

www.getzner.com

getzner
engineering a quiet future

KONSTRULINE

HOLZVERBINDER

DIE PRODUKTSERIE FÜR DEN KONSTRUKTIVEN HOLZBAU.

MADE IN GERMANY

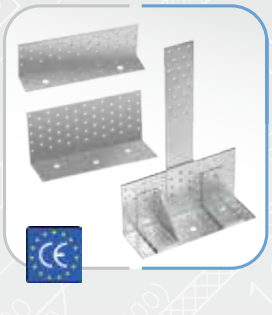
SCHUB-ZUG PLATTEN



BALKENSCHUHE TYP 05/2,5 KOMBI TYP 08/4,0



SCHUBWINKEL SCHUB 80/120



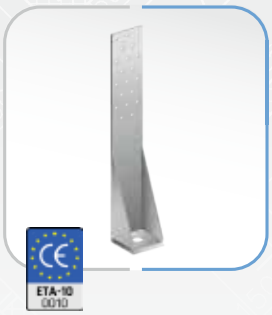
ZUGANKER HT2-TEILIG



BALKENTRÄGER ALU KOMBI MAXI SD 16



ZUGANKER HT



PRODUKT- UND STATIK **ÜBERSICHT.**

JETZT ONLINE IM KATALOGPORTAL!

Unter: www.holzverbinder.de
oder Printkatalog anfordern.



INNOVATIONEN **IM HOLZBAU.**

GH Baubeschläge GmbH
Austraße 34
D-73235 Weilheim/Teck

Telefon +49 7023 743323-0
Telefax +49 7023 743323-29
info@holzverbinder.de

Unser gesamtes Produktsortiment und Statikinformationen finden Sie unter **www.holzverbinder.de**



Grossmann Bau überzeugt mit Holzskelett-Schulneubau

Holzständer-Konstruktion / Holz-Beton-Verbund / Brettsperrholz

Die Integrierte Gesamtschule Rinteln, Niedersachsen, hat einen 2-geschossigen Schulneubau in Holz-Skelettbauweise mit einer Nutzfläche von 7.250 m² erhalten. Rund 2.350 m³ verbautes Holz zeigen sich in der Holzständer-Konstruktion der Außenwände mit innen sichtbarer Fichten-3-Schichtplatte sowie den Innenwänden und OG-Decken aus Brettsperrholz. Die Decken des Erdgeschosses sind in Holz-Beton-Verbund aus Holzbalkenlage und Betonfertigteilen (sichtbar) erstellt.

Eine Lärchenschalung mit vorspringenden Lisenen formt die attraktive Fassade in einem regelmäßigen Raster von 1,65 m, welche auch vier Innenhöfe umrahmt. Auch die Brandschutzanforderungen sind mit sichtbarem Holz gelöst.

Grossmann Bau ist bei der Realisierung von außergewöhnlichen Holzleimbau-Projekten ein erfahrener Partner für Zimmerer, Holzbaubetriebe und Architekten.





Bilder: Grossmann Bau

GROSSMANN
1907-2017 110 JAHRE KOMPETENZ AM BAU

- Holzbau für große Spannweiten / Längen bis zu 45 Meter
- Individuell gefertigtes Brettschichtholz, Sonderbauteile (auch gekrümmt)
- Holz-Beton-Verbund-, Brettsperrholz-Elemente, Blockverleimte Konstruktionen
- Eigenes Ingenieurbüro

GROSSMANN Bau GmbH & Co. KG
83026 Rosenheim
Tel: +49 8031 / 4401-51
holzleimbau@grossmann-bau.de
www.grossmann-bau.de



Tragwerksbau mit Nagelplattenbinder

GIN
Starke Verbindungen

Gütegemeinschaft
Nagelplattenprodukte e.V.
Interessenverband
Nagelplatten e.V.

Zertifizierte Qualität

—

Industrielle Produktion

—

Effiziente Montage

—

Vielfältiges Einsatzspektrum

Der GIN vertritt mehr als 40 Hersteller und Verarbeiter von Nagelplatten und Nagelplatten-produkten. Diese erwirtschaften einen kumulierten Jahresumsatz von rund 250 Mio. Euro. Im Zentrum der Verbandsarbeit stehen die technisch vorbildlichen, wirtschaftlich vorteilhaften, sicheren und nachhaltigen Einsatzmöglichkeiten von Nagelplatten am Bau.

Schanzenstraße 23
51063 Köln
0800 7112 396
gin@nagelplatten.de

www.nagelplatten.de

NEU

LignoProtect SK

Wetterfeste Abdichtung von Holzdecken



Zur temporären Abdichtung von Holzdecken vom Bau bis zur finalen Installation oder als selbstklebende Dampfbremse bei Aufsparrendämmungen und Dachsanierungen.

- Wasserdicht und diffusionsoffen
- Selbstklebend und leicht applizierbar
- Ideal für Holzelementbau & Dachsanierungen
- 3 Monate Witterungsbeständigkeit
- Wasserdichtigkeit W1 geprüft
- Einfachste Anwendung



- Durchscheinen von Beschriftungen



- Optimaler Abrollkomfort



GYSO-Tipp: Abgerollte Folie mit Stossbesen fest andrücken für maximale Haftung und Effektivität.

Haas

besser bauen.

Haas Objektbau. Nachhaltig und sicher in die Zukunft investieren.

Innovative und zukunftsfähige Systemlösungen für den Hausbau, Wohnbau, Gewerbebau und Landwirtschaftsbau.

Haas Fertigbau

Entdecken Sie alle Infos im QR-Code



Logistik-Lösungen für den Holzbau

HABERKORN







Logistik-Lösungen von Haberkorn

Weniger Verwaltung, reduzierte Kosten, hohe Transparenz, 24/7 Versorgung, kürzere Wegzeiten. Wir beraten Sie gerne!
haberkorn.com

HUNDEGGER SPEED-Cut

Kompakt - präzise - flexibel



hundegger.com

Zuschnitt-Maschine

Hundegger SPEED-Cut 480

Präziser und flexibler produzieren mit der kompakten Hochleistungs-Zuschnitt-Maschine.

Schon in der Grundausstattung besitzt die SPEED-Cut 480 ein enormes Potenzial. Allein mit dem Sägeaggregat sind über das Ablängen hinaus vielfältige Bearbeitungen möglich. Nutzen Sie das enorme Bearbeitungsspektrum bei geringem Platzbedarf und schnell amortisiertem Investment.

- **Bauteilquerschnitte bis zu 240 x 480 mm**
- **Kurze Durchlaufzeiten ohne Einstellen und ohne Rüsten**
- **Jede Maschine wird exakt an die individuellen Kundenbedürfnisse angepasst**

HUNDEGGER

Innovationen für den Holzbau

HBS

Ein Unternehmen der ante-Gruppe

www.hbs-berga.de

Holzbausysteme







- Dach-/Wand und Deckenkonstruktionen aus CLT
- Modernste CNC-Maschinen und Fertigungsprozesse
- Beratung und Unterstützung für Architekten, Planer und Holzbaubetriebe bei individuellen Projekten

Als Hersteller von CLT bietet HBS großformatige Massivholzelemente welche als Wand-, Decken- und Dachbauteile eingesetzt werden können.

Diese Bauteile sind standardmäßig in den Abmessungen von 3,50 m x 16,00 m herstellbar, Stärken liegen zwischen 60 mm und 280 mm, i.d.R in 20 mm Schritten. Überlängen und/ oder Sonderstärken sind auf Anfrage möglich.

Der montagefertige Zuschnitt erfolgt präzise nach Kundenvorgaben auf modernen Abbund-CNC-Maschinen.

HBS Berga GmbH & Co. KG
Ahornweg 1 • 06536 Berga - Südharz
Tel: +49 34651 451-0 • e-mail: info@hbs-berga.de

HBT-ISOL
passion for silence

Solutions against vibrations, shocks and structure-borne noises in timber constructions





Solutions

– Decoupling of flank noise
– Spring bearings for HVAC systems and machines
– Elastic bearings for elements and modules

HBT-ISOL AG
Im Stetterfeld 3
CH-5608 Stetten
T +41 56 648 41 11
www.hbt-isol.com
info@hbt-isol.com

HBT-ISOL GmbH
Friedrichstr. 95
D-10117 Berlin
T +49 (0)30-97 89 47 07
www.hbt-isol.com
info@hbt-isol.com

Ist die künstliche Beleuchtung unverträglich geworden? Lignum Biancolegno® bietet die Lösung!



LIGNUM BIANCOLEGNO®

WEISSE HOLZLASUR AUF WASSERBASIS

Erhellen Sie Ihre Räume mit dem Weiß, das nicht vergilbt.

Erfahren Sie mehr auf
www.hdg.it

HDG GROUP

TRAV Integral

DAS RUNDUM-SORGLOS-PAKET

HELLA bietet Holzbauprofis eine neue, einfache und sichere Lösung, die alle Gewerke rund ums Fenster verbindet. Sie ermöglicht die Integration von vormontierten Sonnenschutzprodukten in eine Komplett-System-Lösung. Ein vorgefertigtes Gesamtsystem aus Rahmen, Fensterbank und integriertem Sonnen- und Insektenschutz ersetzt den Einbau von Einzelkomponenten in die Wandöffnung. Das bringt zahlreiche Vorteile. TRAV Integral ist eine Weiterentwicklung der verwandten Lösung TRAV frame für die Ziegelbauweise.

Einfache und schnelle Montage sichergestellt
Die Vorfertigung macht das Handling des TRAV Integral in der Montage einfach und kalkulierbar. Denn die Verbauung der Wandöffnung passiert nicht mehr durch zahlreiche Einzelkomponenten, sondern durch den Einbau eines vorgefertigten Baukastensystems.
Mehr Informationen unter:
www.hella.info

Ihr HELLA-Ansprechpartner berät Sie gerne!
Kontaktieren Sie uns unter:
fertigbau@hella.info

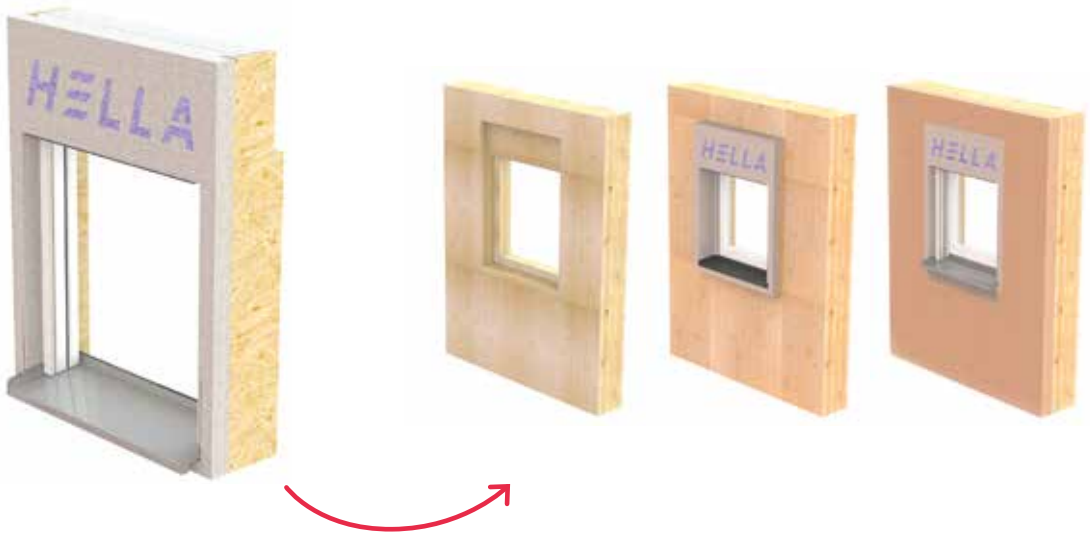


R+T INNOVATIONS PREIS 2021 GEWINNER

HELLA wurde mit diesem Produkt für den R+T Innovationspreis 2021 nominiert und wurde kürzlich mit Silber in der Kategorie Sonderlösungen ausgezeichnet.



Der Alleskönner für den Holz- und Fertigbau



Haslinger

HMR Jacob
Stahltechnik
für den Holzbau



Holz & Metall Vereiniger

Ihr Stahltechniker mit dem Komplettservice für den Holzbau
Höchstes Know-how für Schweißteile · Schlitzbleche · Balkenschuhe · Windverbände · Zugstangen
Leimbinderpressen · Nagelbleche · Sonderschrauben, -scheiben, -muttern
CE-zertifizierte Stabdübel · Schweißen nach EN 1090 bis Ausführungsklasse EXC 4

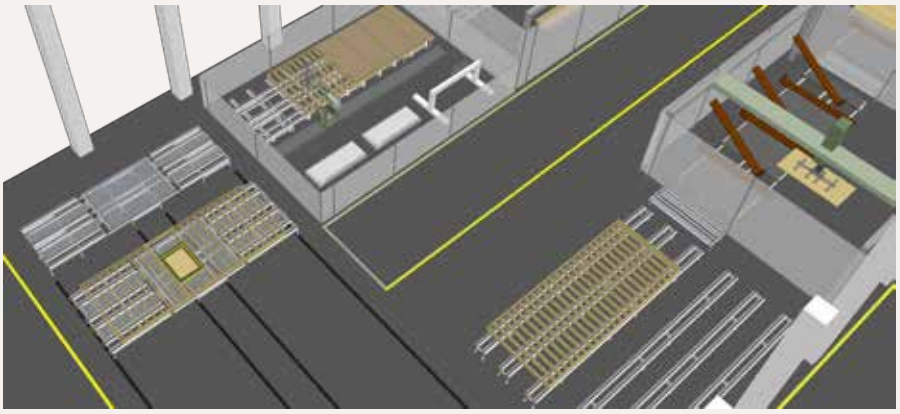
Als Neuheit der Haslinger Firmengruppe bietet das HMR 750 Zugstabsystem der modernen Architektur von heute ein innovatives und formschönes Produkt mit exzellentem Korrosionsschutz, sehr hoher Tragfähigkeit und mehr Montagesicherheit.

www.hmr-jacob.de

holzbau.tech

- umfassende Dienstleistungen für den Holzbau -

holzbau.tech bietet umfassende Dienstleistungen und Services für die Optimierung, Digitalisierung und Automatisierung der Prozesse im Holzbau. Dabei arbeitet holzbau.tech kundenspezifische, herstellerunabhängige und ganzheitliche Konzepte aus.



Produktion - Entwicklung und Planung

Roboterbasierte Fertigungskonzepte

Digitale Tools und IT-Konzepte

Prozess- und Produktionsoptimierung

Holzbau - Konstruktion und Planung



Arbeitgeber der Zukunft

UNTERNEHMER

Work with us

Telefon: +49 8031 271556-0
E-Mail: info@holzbau.tech

Find us

Frühlingstraße 32A
83022 Rosenheim

Socials - *holzbau.tech*







CLT HERSTELLUNG:
DIGITAL. NACHHALTIG. IM SCHWARZWALD.

// Höchste Qualität und ein hohes Mass an Serviceleistungen.

Erfahrung, gepaart mit Innovationskraft: unsere drei Gesellschafter, die Sägewerke Streit, Echtle und Kübler haben in Summe über 450 Jahre Erfahrung mit Holz und 30 Jahre Erfahrung im Abbund und Holzelementbau!

- ... CLT aus vollständig flankenverklebten Brettern, in allen Lagen
- ... Edle Oberflächen aus Weißtanne und Fichte
- ... Hohe Maßhaltigkeit durch innovativen Plattenaufbau, hydraulische Presstechnik und Kalibrierschliff
- ... Schleifen von Sichtqualität in Faserrichtung
- ... CLT aus der Region für die Region
- ... 3D Holzbaufach-/Konstruktionsplanung
- ... 30 Jahre Abbunderfahrung
- ... Ansprechpartner mit Handwerkserfahrung auf Augenhöhe unserer Kunden
- ... CLT Abbund mit innovativer Technik

HolzBauWerk Schwarzwald GmbH
Gewerbestraße 32 · 72297 Seewald
Tel. +49 (0) 7447 89690-0
info@hbw-schwarzwald.de
www.holzbauwerk-schwarzwald.de

HOLZBAUWERK SCHWARZWALD

HOLZ SCHILLER

direkt vom Hersteller QUALITÄT

Europas führender Hersteller von astreinem Leimholz für Fenster, Türen, Fassaden & für den modernen Holzbau.



Holz Schiller®

Kompetenz begeistert...



Schiller Leimholz Natürlich PREMIUM.

BRETTSCHICHTHOLZ / PFOSTEN-RIEGEL-LEIMHOLZ

- Für den gehobenen Anspruch bei Fassaden und Wintergärten
- Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL30 ermöglicht eine moderne filigrane Bauweise
- Gemäß dem Zertifikat der Leistungs-beständigkeit laut EN14080-2013
- Kostenvorteil durch schlanke Dimensionen
- Kein zusätzlicher Aufwand durch Ausflicken von Ästen
- Flexibilität, Leistungsstärke und Erfahrung

AKUSTIKPANEELE

- Eigene Herstellung in DE und CZ
- PEFC™- oder FSC®-zertifiziert (holzartenabhängig)
- Holzfaserplatte ohne Leimzusätze
- Ohne metallische oder mineralische Stoffe
- Feingliedrige Akustiknuten
- Vielfältige Nutbilder und Veredelungen
- Schallabsorbierend, luftfeuchteregulierend und atmungsaktiv
- Praktisches Nut- & Feder-Stecksystem



AKUSTIKPANEELE Natürlich Holz

Holz Schiller GmbH · Pointenstr. 24-28 · 94209 Regen · Tel. 09921 / 94 42 - 0 · kontakt@holz-schiller.de · www.holz-schiller.de



HC WEINMANN

Von A wie Anreissen ...
... bis Z wie Zukunft.

Modernste Technologien für die Vorfertigung ermöglichen eine effiziente Produktion in höchster Qualität. Sowohl für den Abbund als auch den Elementebau bieten wir Ihnen die passende Anlagentechnik und entwickeln gemeinsam mit Ihnen das für Sie passende Produktionskonzept. Dabei verstehen wir uns nicht als reiner Maschinenlieferant: Wir unterstützen Sie von den Anlagen samt passender Softwarelösungen über Services und Schulungen bis hin zum individuellen Consulting in Unternehmensfragen.
Von A bis Z.

So sind Sie flexibel aufgestellt – heute und morgen.

www.homag.com/weinmann

YOUR SOLUTION

HOLZUNION
Timber Construction Group



Kompetenz in allen Disziplinen.

Ausgestattet mit der umfassenden Kompetenz von fünf erfahrenen Holzbau-Unternehmen bietet die HOLZUNION als Komplettanbieter alle Leistungen in den verschiedenen Bereichen des Holz- und Hausbaus kompetent aus einer Hand.

Von der Projektierung, der individuellen Planung über die statische Berechnung bis hin zu Produktion, Transportlogistik und Montage – die HOLZUNION ist der interdisziplinäre Partner für das professionelle Bauen mit Holz.



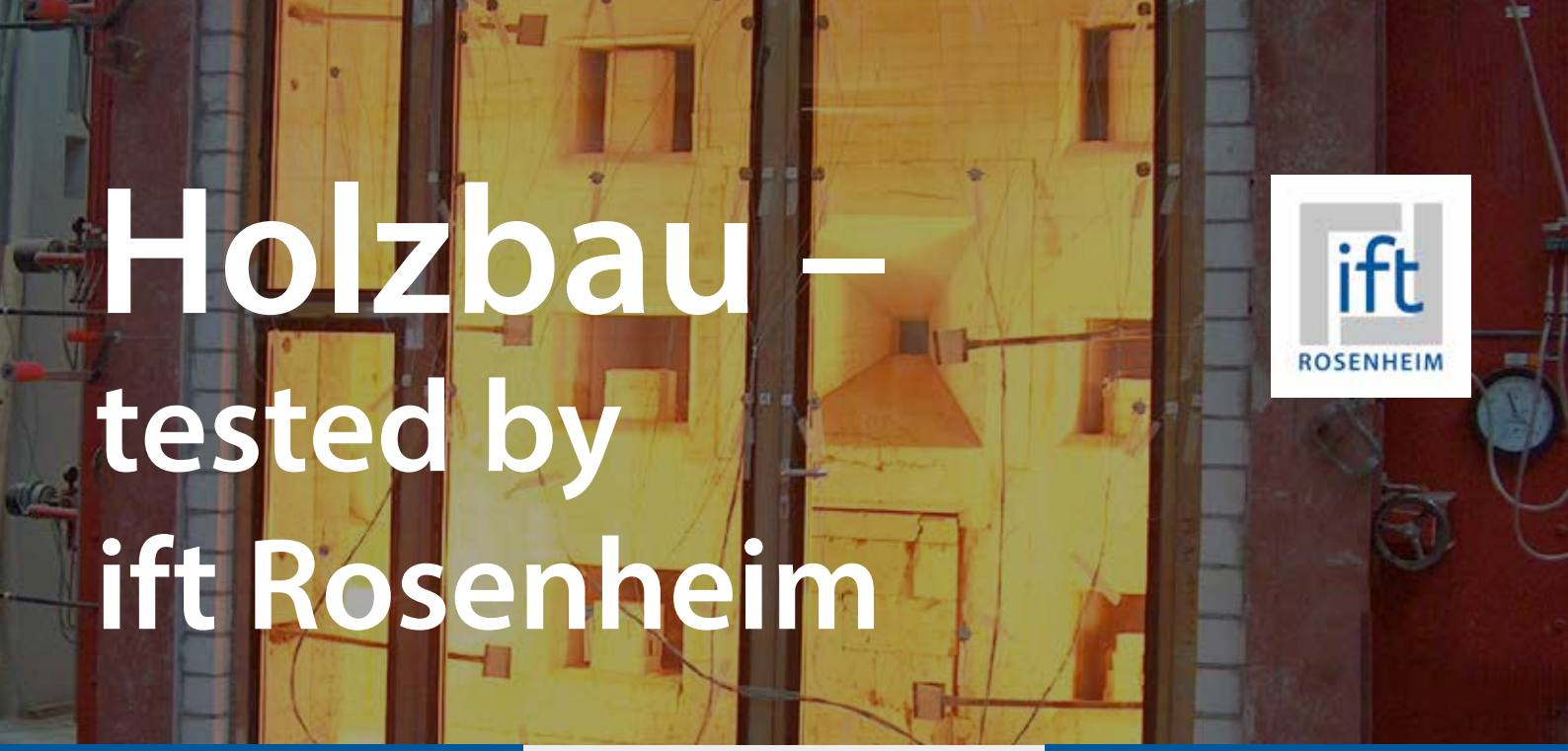


INGENIEUR-HOLZBAU • MEHRGESCHOSSIGER WOHNUNGSBAU
ÖKOLOGISCHER HOLZBAU • SANIERUNG UND MODERNISIERUNG
SCHLÜSSELFERTIGER OBJEKTBAU • GROSSES SCHAFFEN AUS HOLZ!

HU-Holzunion GmbH **www.holzunion.com**

Zentrale: Waffensener Dorfstraße 20 • D-27356 Rotenburg (Wümme)

Niederlassung: Georg-Schwab-Straße 3 • D-86732 Oettingen • Tel.: +49 4268 / 933 66 • Fax +49 4268 / 933 77 • info@holzunion.com



Holzbau – tested by ift Rosenheim

Brandschutz

- Feuerwiderstand
- Rauchschutz
- Brandverhalten
- Nachweise für EU, Nordamerika, UK, Arabischer Raum, Indien etc.
- Brandschutzkonzepte

Schall-dämmung

- Luftschall
- Schall-Längsleitung
- Trittschall

Bauphysik

- Wärmedämmung (U-Wert)
- Feuchteschutz
- Luftdichtheit
- Tauwasser

Mechanik + Festigkeit

- Holzbaustoffe
- Holzwerkstoffe
- Schrauben (Auszugsfestigkeit)
- Verbindungsmittel

Holzschutz

- Chemischer Holzschutz
- Holzarten
- Konstruktiver Holzschutz

Nachhaltigkeit

- Zertifizierung von Managementsystemen (Umwelt, Energie etc.)
- Erstellung von Ökobilanzen/EPDs
- CO_2-Fußabdruck (Produkte, Unternehmen)
- Nachhaltigkeitsberichte

Wir unterstützen Sie gerne!

ift Rosenheim GmbH
Theodor-Gietl-Str. 7-9
83026 Rosenheim
Deutschland

E-Mail: info@ift-rosenheim.de
Telefon: +49 8031 261-0
Website: www.ift-rosenheim.de

Weitere Informationen

www.ift-rosenheim.de/holzbau



Erlebe die Wärme des Holzes!

Das Haus
Lumar INDIVIDUAL – iQwood

iqwood

DAS SCHLANKSTE LEIM-FREI MASSIVHOLZ-BAUSYSTEM

iQwood ist eine patentierte, massive, außergewöhnlich stabile und sichere Holzkonstruktion. Hergestellt aus Holz aus den Wäldern der Region, verarbeitet ohne Klebstoffe, Chemikalien und Metallen. Die Konstruktion besteht aus kreuzweise zusammengesetzten Brettlagen, die durch massive Holzdübel direkt und dauerhaft miteinander verbunden sind. Daher eignet sich iQwood für die Wände und Dächer der schönsten Holzhäuser.

www.iqwood.com
www.lumar-haus.at

Lumar®
Besser leben!

45 JAHRE HERSTELLER

ISO CHEMIE
Use the blue technology.

FORUM HOLZBAU INTERNATIONAL
29.11.–01.12.2023
BESUCHEN SIE UNS!

ISO$^{\mu}$-HOLZBAUDICHTSYSTEM

EFFEKTIVER SCHUTZ VOR STEIGENDEN ENERGIEKOSTEN UND BAUSCHÄDEN

Mit unserem ISOμ-HOLZBAUDICHTSYSTEM gelingt die Abdichtung von Bewegungsfugen einfach und sicher. Denn unsere qualitätsgeprüften Systemprodukte gleichen Fugenbewegungen sicher aus und sind gleichzeitig für den Einsatz als Feuchte- und Dampfsperre optimiert. Dies ist notwendig, da Fugen im Holzhausbau ganz besonders beansprucht werden.



BAUFUGE 4.0

GEBÄUDEABDICHTUNG DER NÄCHSTEN GENERATION
Mehr unter: BAUFUGE4.0.iso-chemie.eu

ISO-Chemie GmbH \ info@iso-chemie.de \ www.iso-chemie.de

spit Paslode haubold

TOOLMATIC®

AUTOMATED FASTENING SYSTEMS



S540

KLAMMERNIEDERHALTER
für Robotikanwendung.

SILENCER minimiert die Geräuschemission.

Werkzeuglos aufklappbare **Vorderklappe** zur **SCHNELLENTSTÖRUNG**

WIR KOMMEN ZU IHNEN

Beratung | Installation & Einweisung | After Sales

TEAM NORD
Maik Gütersloh
Michael Serafin

TEAM SÜD
Jens Hödel
Jörg Paulusch

Jagram-Pro S.A.

Dogana
Stand
DG048



Die Firma **JAGRAM-PRO** ist der Spezialist
für gekrümmtes Brettschichtholz mit sehr kleinen
Radien und für Sonderbauteile in allen Formen.

TCLwood 618®

(thin construction lamella for wooden constructions)

Kontaktieren Sie uns für mehr Informationen:
JAGRAM-PRO S.A.
Lesna 16, Polen
Tel. +48 55 2787 970
E-Mail: iso@jagram.de

www.jagram.de

ROLLLADEN- & SONNENSCHUTZSYSTEME

Schutz und Komfort rund ums Gebäude sind unser Thema seit 1898: Mit Produkten für Verdunklung und Schutz am Fenster, Sonnen- und Wetterschutz im Freien, mit Torsystemen und umfassendem Service sind wir idealer Partner und Ausrüster für den Holzbau.

Vom Rollladen über die Markise bis zum Tor

Wir bei Günthner verstehen uns aus Tradition auf Holzbau: In unsere Produkte fließen handwerkliche Erfahrungen ein, mit denen wir ständig unser Portfolio weiter perfektionieren. Deshalb bieten wir unsere wichtigste Produktkategorie, die Kastensysteme der FLEXI FIX-Reihe, bewusst in Varianten an, die ideal für die Integration im Holzbau geeignet sind. Zugleich eröffnen wir durch die individuelle Dimensionierbarkeit dieser Systeme bei einem hervorragenden Dämmwert exzellente Voraussetzungen für die Nutzung bei anspruchsvollen Projekten.

Individualisierbare Rollladen-Panzer, Raffstoren oder Textilscreens in frei wählbaren Abmessungen, in passende Schienensysteme integrierbare Absturzsicherung aus Sicherheitsglas bei bodentiefen Fenstern und noch vieles mehr haben Günthner-Sonnenschutzsysteme zu bieten. Hinzu kommen noch variable Schiebe- und Klappladen-Systeme. Zudem bieten wir Sonnen- und Insektenschutz-Systeme, die auch für die Innenanbringung geeignet sind – all dies natürlich ebenfalls automatisierbar und ins Smart Home integrierbar.

Die Wetter- und Sonnenschutz-Gestaltung für Terrassen und Balkone zählt zu den weiteren Feldern, die Günthner rund ums Haus zu bieten hat. Und die Günthner-Torsysteme als Kipp-, Roll- oder Sektionaltore sorgen für Sicherheit für bewegliche Güter in Garagen oder befahrbaren Hallen.

Die besondere Nähe unseres Portfolios zu Kundenwünschen erklärt sich aus unserem Servicedenken: So sind wir nicht nur leistungsstarker Lieferant der vorgenannten Produkte und fertigen auch für bekannte andere Marktteilnehmer als OEM-Lieferant. Günthner ist auch als Dienstleister von der Beratung und Planung über die Montage vor Ort bis hin zum Wartungs- und Reparaturservice aktiv und bleibt so dicht dran an den Wünschen der Endabnehmer und Nutzer der unterschiedlichen Produkte.

NEUHEITEN!!!

woodframe FLEXI

www.guenthner.de



*Gilt für KEIM Lignosil-Inco und KEIM Lignosil-Verano.

CERTIFIED cradle to cradle SILVER

KEIM LIGNOSIL® EIN MEILENSTEIN FÜR HOLZOBERFLÄCHEN

DIE WELTWEIT ERSTE SILIKATFARBE FÜR HOLZ.

- Hervorragender Feuchteschutz
- UV-stabil und absolut lichtecht
- Extrem witterungsbeständig
- Unerreicht langlebig
- Samtmatte Oberflächenoptik
- Einfach zu renovieren

KEIM. FARBEN FÜR IMMER.

www.keim.com

STRONG FOR GENERATIONS

KLIMAS
FASTENER TECHNOLOGIES



NEW CUTTING EDGE WITH ADDED MILLING

TIMBER CONSTRUCTION SCREWS



UP TO **40%** **FASTER** SCREWING TIME
compared to old tip of Klimas Wkręt-met screws

UP TO **20%** **LESS SCREWING** RESISTANCE
compared to old tip of Klimas Wkręt-met screws

DOUBLE THREAD

GREATLY IMPROVES TIMBER PENETRATION SPEED

HIGH PERFORMANCE

PARAMETERS

CERTIFIED PRODUCTS

more at: www.klimas.com | **contact us: export@wkret-met.com**

Wkręt-met KLIMAS

POLISH PRODUCER OF TIMBER CONSTRUCTION SCREWS

Verbindungssysteme für Stahl, Beton und Holz Anschlüsse im Holzbau für Wand, Boden und Haupt-Nebenträger

RICON®



RICON® EDELSTAHL



MEGANT®



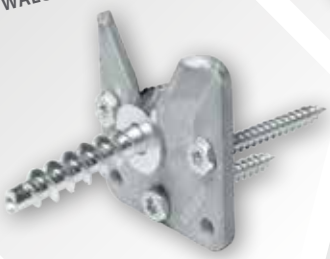
T-JOINT



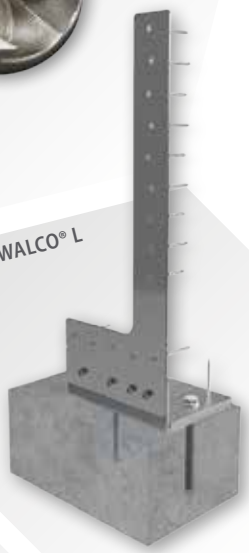
RICON® S



WALCO® V



WALCO® L



WALCO® Z



GIGANT



WALCO® BOLT



WALCO® PIPE



mit Hebevorrichtung



Vorfertigung in der Werkstatt | Zulassungen | Unsichtbar | x Minuten Feuerwiderstand | H Holz-Anschluss | S Stahl-Anschluss | B Beton-Anschluss

CE made in Germany

Knapp GmbH | Wassergasse 31 | A-3324 Euratsfeld | Tel.: +43 (0)7474 / 799 10 | Fax: +43 (0)7474 / 799 10 99

Knapp GmbH | Vertrieb Deutschland | Föhrenweg 1 | D-85591 Vaterstetten
Tel.: +49 (0)8106 / 99 55 99 0 | E-Mail: info@knapp-verbinder.com | www.knapp-verbinder.com

YouTube ››› online-store

KNAPP®
verbinder.com

KRINNER
Das Schraubfundament

Verkauf
Montage
Planung













einfach, schnell und ökologisch bauen

www.krinner-fundamente.at

Wir überzeugen seit über 60 Jahren mit Schweizer Qualität.

krüsi
swiss premium
woodworking machines

Alle unsere Holzbearbeitungsmaschinen werden in Schönengrund im Appenzeller Hinterland hergestellt. Bei den verwendeten Materialien setzen wir auf höchste Qualität und garantieren Ihnen so eine lange Einsatzdauer und Zuverlässigkeit aller Krüsi Maschinen.

CNC-Maschinencenter MC-15 Q1
Effizient, leistungsstark und präzise, geringer Platzbedarf ohne Baugrube. Für Riegel- und Elementbau, Stangen- und Plattenbearbeitungen



Bodenfräse BF-19
Zeitsparende Bearbeitung von Systemplatten für Fussboden-Heizungen









Weitere Holzbearbeitungsmaschinen

CNC-Maschinencenter MC-15 Q2
Modular ausstattbar mit bis zu 6 Fünf-Achs-Aggregaten. Durchlass bis 1'300 × 300 mm

Autom. Zuschneid- und Besäumkreissäge LKSA
einfach und schnell verstellbar. Sichere Handhabung während der gesamten Bearbeitung

Chaletbaumaschine CM-40
manuell oder CNC-gesteuerte Bearbeitung in nur einem Arbeitsgang

Chaletbaumaschine CMI 4 × 4
für Querschnitte der Holzbohlen bis 300 × 250 mm

CNC-Bearbeitungscenter Lignamatic
höchste Produktionsleistung auch für aufwendig verdrehte Werkstücke

Wir freuen uns auf Ihren Besuch im Erdgeschoss Dogana / Stand Nr. DG022

kruesi-ag.ch

Krüsi Maschinenbau AG
Hauptstrasse 68
CH - 9105 Schönengrund
T +41 71 361 10 50

Materialeffizient und konfigurierbar

Decken-, Dach- und Wandbauteile sowie Akustikpaneele aus LIGNO® Brettsperrholz-Rippenelementen

30 Jahre Materialeffizienz







Tragfähigkeit

Variable Steghöhen für Spannweiten bis 18 m,
Statik mit Schwingungsnachweis

Sichtoberflächen

Echtholz-Oberlächen – geschlossen
und in verschiedenen Profilierungen

Schallschutz / Wärmeschutz

Erhöhter Schallschutz – auch tieffrequent,
integrierte Wärmedämmung

Brandschutz

Feuerwiderstand bis REI 90,
Entflammbarkeit bis B-s1-d0

Raumakustik

Integrierter Akustikabsorber
aus natürlicher Holzfaser

Installationen

Ober- und unterseitige Leitungsführung:
längs und/oder quer

Baubiologie

natureplus®-zertifizierte
gesundheitliche Unbedenklichkeit

LIGNO TREND®

Für eine nachhaltige Holz-Baukultur.

Landstraße 25 | 79809 Weilheim | Deutschland
Tel.: +49 (0) 7755 - 9200-0 | Fax: -55
E-Mail: info@lignotrend.com

Konfigurieren Sie das individuelle
Element für Ihr Projekt selbst:
www.lignotrend.com/konfigurator



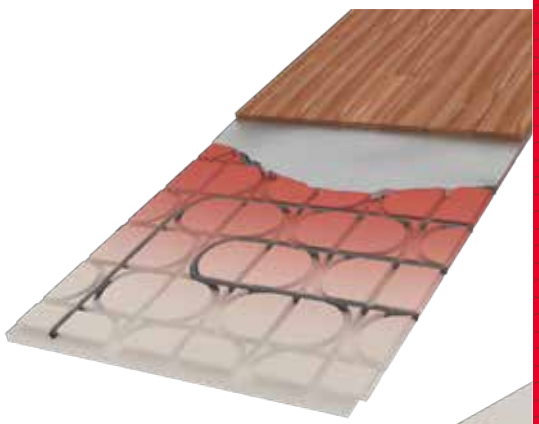
Mit NORIT zum perfekten Bodenaufbau

Effiziente Systeme für die Sanierung, Renovierung sowie den Neubau

NORIT bietet hochwertige Trockenbauprodukte wie effiziente und schlanke Fußbodenheizungen als auch belastbaren Trockenestrich in verschiedenen Schichtstärken.

NORIT-Produkte – Ihre Vorteile auf einen Blick

NORIT-Fußbodenheizung



- einfache, schnelle und flexible Verlegung
- schnelle Reaktion des Heizsystems
- niedrige Aufbauhöhe (ab 23 mm) und geringes Gewicht
- belegereif ab 24 Stunden
- niedrige Vorlauftemperatur spart Energie
- Heizen und Kühlen in einem System

NORIT-Trockenestrich



- Schichtstärken: 15, 20, 25, 30 mm
- optimale Plattenverbindung durch einzigartige Verbindungssysteme
- einfache und schnelle Verlegung
- für Feuchträume geeignet
- kein Verschrauben notwendig
- extrem hohe Passgenauigkeit

Mehr Infos unter:
www.Lindner-NORIT.com



Wood Related Advanced Education

Sustainable Structural Engineering
Master Program, 120 credits

Study at our department center for wood building technology. Challenging building projects, close research connection and excellent laboratory facilities. The program prepares students for work in industry, within a growing wood building branch or elsewhere in the building industry where skills in structural design and analysis are required, but it also prepares for research studies for PhD exams.

Contact person:
Prof. Ambrose Dodoo, ambrose.dodoo@lnu.se

Innovation through Business, Engineering and Design – specialization engineering
Master Program, 120 credits

This two-year master program is based on companies' needs for employees with the ability to initiate, lead, and promote the creation of innovations. The program is based on joint projects, often in collaboration with the industry and different organizations. Students work in multidisciplinary groups with academic background in Business, Engineering and Design.

Contact person:
Dr. Peter Lerman, peter.lerman@lnu.se

Expert competence for sustainable wood constructions

Do you want to learn more about sustainable wood construction? Linnaeus University offers further education courses, adapted to be carried out in parallel with a regular employment. The course participants meet at the university or remotely on a few occasions per course, and large parts of the studies are carried out through homework.
In 2024, courses on the topic of "Composite Elements and Hybrid Structures" (autumn 2024), and "Wood Building – Architectural Engineering and Design" (autumn 2024) are offered. Read more about the courses at Lnu.se/ehtb.

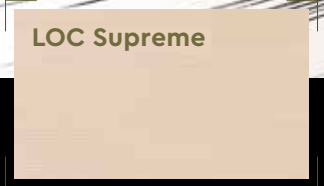
Contact person:
Dr. Michael Schweigler, michael.schweigler@lnu.se

Linnæus University



LOC HOLZ

OBERÖSTERREICHS ERSTES BRETTSPERRHOLZWERK









GESTALTUNG

- Einzigartig durch schlichte und astreine Optik
- Größtmögliche gestalterische Freiheit durch flächige und große Elemente
- Fast unbegrenzte Einsatzmöglichkeiten wie Außen- und Innenwände, Dach, Decke etc.
- Kompatibilität mit allen Baustoffen
- Einfache Planung

TECHNIK

- Formstabilität und enorme Festigkeit ermöglichen eine schlanke Bauweise
- Ideale Wärme- und Schalldämmung
- Sicher und berechenbar im Brandfall

KOSTEN

- Kurze Bauzeiten dank höchstem Vorfertigungsgrad
- Einfache und schnelle Planung
- Trockener Baustoff ermöglicht rasche Installationen sowie schnelle Bezugsfertigkeit
- Höchste Präzision durch CNC

KLIMA

- Nachhaltiger und zertifizierter Baustoff Holz
- Ein Kubikmeter LOC Element speichert rund eine Tonne CO_2
- LOC Elemente bestehen ausschließlich aus regional geerntetem Rundholz
- Ästhetische und handwarme Oberfläche
- Perfektes Raumklima durch Feuchteregulierung im Sommer und Winter

ÄSTHETISCH.
MASSIV.
ECHT.

loc-holz.at

helopal
Die Fensterbank

SYSTEM SLIDE

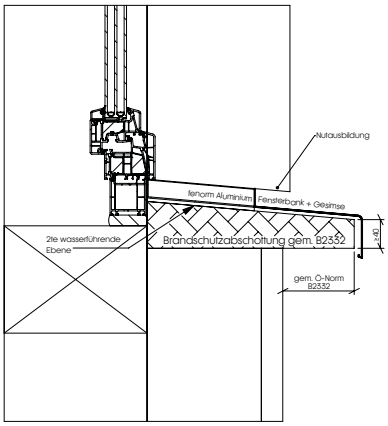
... als Geschoßtrennbleche - die perfekte Lösung

Das System Slide von helopal ermöglicht den normgerechten Einbau von Fensterbänken und verhindert Wassereintritt in den Baukörper. Es bietet dem Planer / Architekten volle Gestaltungsfreiheit und dem Verarbeiter Sicherheit bei der Umsetzung.



Projekt: Wohnhausanlage in Neuhofen an der Krems

Eingebaute Produkte: fenorm Aluminium Außen-Fensterbänke und Geschoßtrennbleche, System SlideAlu Kombi



VORTEILE System Slide

- ideale Entwässerung der Sonnenschutz-Führungs-schienen und der Fensterrahmennut/ Gehrungsnut in das Fensterbank-System
- In der Fassade durchlaufende Fensterbank
- Im System als Geschoßtrennbleche
- Kombifassade (Holz/WDVS)





Geklebter Holz-Beton-Verbund mit Beton-Fertigteilen

Bildrechte: Universität Kassel, Fachgebiet Holzbau

Ein Gemeinschaftsprojekt von

bewo Fertigteile aus Beton – Betonwerk Oberessendorf GmbH & Co. KG

UNIKASSEL VERSITÄT

GROSSMANN

RAMPF discover the future

Schütt – Besser bauen. Mit Holz.

LÜBBERT WARENHANDEL

Kontakt: Lübbert Warenhandel GmbH - Traberweg 2- 22159 Hamburg
Telefon +49 (0)40 226 59 22 70 - info@holzleime.de

INOPREQ

Ihre Lösung für geschlossene Oberflächen.

InopreQ GmbH & Co. KG
Traberweg 2 - 22159 Hamburg
Tel. +49 40 226 59 22 70
www.inopreq.de - info@inopreq.de



2K-PUR-Holzreparatursysteme

InopreQ 2K-Systeme stehen für:

- nie wieder Flaschenhals Flickstation
- Steigerung der Produktivität
- hohen und schnellen Durchsatz
- hohe Prozesssicherheit
- effizienten Personaleinsatz an der Flickstation
- wirtschaftliche Nutzung minderer Holzqualitäten
- Nachhaltigkeit
- Kostensenkung

TEAMPLAY

Remote controlled **Ludwig Hook** together with remote controlled **Ludwig Traverse** make it possible to position and release the load from safe distance





LUDWIGTRAVERSE

NEW: Ludwig Traverse now made of aluminium with reduced product weight of 400 kg

+



LUDWIGHOOK

Established Ludwig Hook – 2t ideal for lifting walls, beams, panels, etc.

Both products can be used with one remote control

LUDWIGSYSTEM

LUDWIG SYSTEM GmbH & Co KG
Reichenhaller Straße 109
83435 Bad Reichenhall

T +49 8651 7656 730
E info@ludwigsystem.com
W www.ludwigsystem.com



AUS GUTEM HOLZ

VIGAM: DAS WELTWEIT EINZIGE BRETTSCHICHTHOLZ AUS EICHE MIT CE-ZEICHEN FÜR TRAGENDE ZWECKE

Ihr Spezialist für hochwertige Holzprodukte

Holzbalken ist nicht gleich Holzbalken. Die langjährige Erfahrung der **GRUPO GÁMIZ** mit Edelhölzern hat dazu geführt, dass wir die Eigenschaften jeder einzelnen Holzart genauestens kennen. Das VIGAM Brettschichtholz aus Eiche eignet sich sowohl für tragende als auch dekorative Zwecke und sorgt für höchste ästhetische Ergebnisse mit ausgezeichneten Festigkeitseigenschaften. Im Jahr 2013 hat die **GRUPO GÁMIZ** als erster Hersteller weltweit das CE-Zeichen für die Herstellung von Brettschichtholz aus Eiche als Holzbauelement erhalten.

www.grupogamiz.com

Ctra. Vitoria-Estella, N° 2 - 01110
Sta. Cruz de Campezo - Álava, Spain

T: +34 945 40 54 25
gamiz@grupogamiz.com

Grupo Gámiz

MHM
Massiv-Holz-Mauer®

ÖKOLOGISCH UND INDIVIDUELL

BAUEN MIT MASSIV-HOLZ-MAUER® UND PROFIL-HOLZ-ELEMENTEN

BESUCHEN SIE UNS AUF DER IHF 2023
STAND NR.: 213
IM 2. OG

FLEXIBLES BAUEN



Kommunale Bauvorhaben

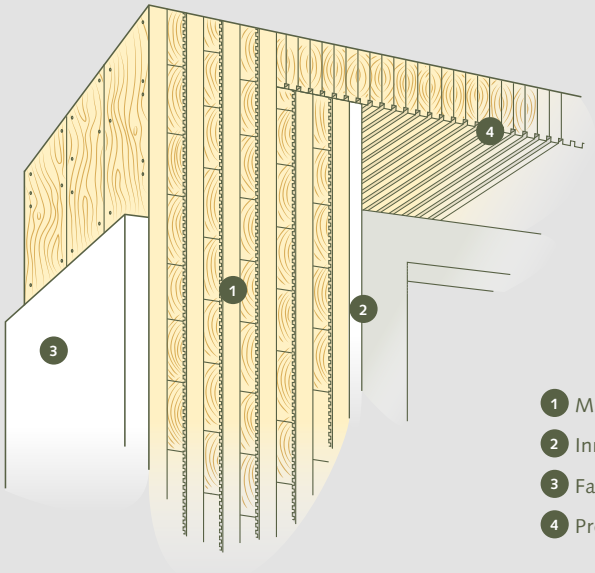


Privater Wohnungsbau



Gewerbliche Bauvorhaben

EINE WANDKONSTRUKTION FÜR ALLE GEBÄUDETYPEN



1. Massiv-Holz-Mauer®
2. Innenbeplankung
3. Fassade
4. Profil-Holz-Elemente

MHM IN IHRER NÄHE

So erreichen Sie uns:
Telefon: +49 (0) 8332 - 9233 2090
E-Mail: info@massivholzmauer.de

Eine Übersicht der MHM-Partner finden Sie hier:

www.massivholzmauer.de/de/kontakt/hersteller-/-partner-finden

WWW.MASSIVHOLZMAUER.DE



OFFSITE-BAU

Ihr Spezialist für das vorelementierte Bauen

- → Softwarelösungen für den Holzbau
- → Herstellung und Vertrieb von Verbindungsmitteln aus Stahl für Dach-, Decken- und Wandsysteme
- → Von der Projektierung und Statik über die Produktion bis hin zur Montage – ein durchgängiges System

MITEK.DE

MiTek®



IHR PARTNER FÜR HOLZBAUSTATIK

Effektive Tragwerksplanung, durch Erfahrung und effiziente Planungsprozesse.

RATIONELL IN HOLZ

Erfahrung und optimierte Prozesse bringen uns zu der optimalen Lösung für Ihr Gebäude.

EINSATZ VON KI SYSTEMEN

Unsere hauseigene Software ermöglicht das Vergleichen von verschiedenen Varianten.

KOSTENSICHERHEIT

Durch den modellbasierten Ansatz können schon früh genaue Mengen und Kosten ermittelt werden.

TRAGWERKSPLANUNG

- Betreuung in allen Leistungsphasen
- Berechnen Sie Ihre Projekte in vollem Umfang im Holz und Massivbau.
- Koordinierung mit anderen Fachplanern

PREISWERTE BERECHNUNG

- Wir tragen auch die Brille der Bauherrschaft, deshalb haben wir den Anspruch unsere Dienstleistung schnell und preiswert umzusetzen.
- Ständige Verbesserung unserer Software und interner Prozesse schaffen ungeahnte Effizienzen.

ZUFRIEDENE KUNDEN

- Unsere Kunden sind Projektentwickler, Holzbauer und private Bauherren. Das sind Sie auch? Dann machen Sie gemeinsam mit uns Ihr Projekt zum Erfolg.

OBERNDORFER
HYBRID SYSTEMS



EINE KOMBINATION, DIE VERBINDET

WIR FREUEN UNS AUF IHREN BESUCH!

OBERNDORFER Hybrid Systems GmbH
Wienerstraße 662, A-3571 Gars am Kamp | +43 2985 30 922 - 2300 | office@oberndorfer-hybrid.com | WWW.OBERNDORFER-HYBRID.COM



OERTLI

Excellence in solid wood

Gemeinsam erfolgreich:
Sie fertigen Holzbauten.
Wir liefern Werkzeug und Erfahrung.

Video Theurl

Schneller - Wirtschaftlicher - Sauberer

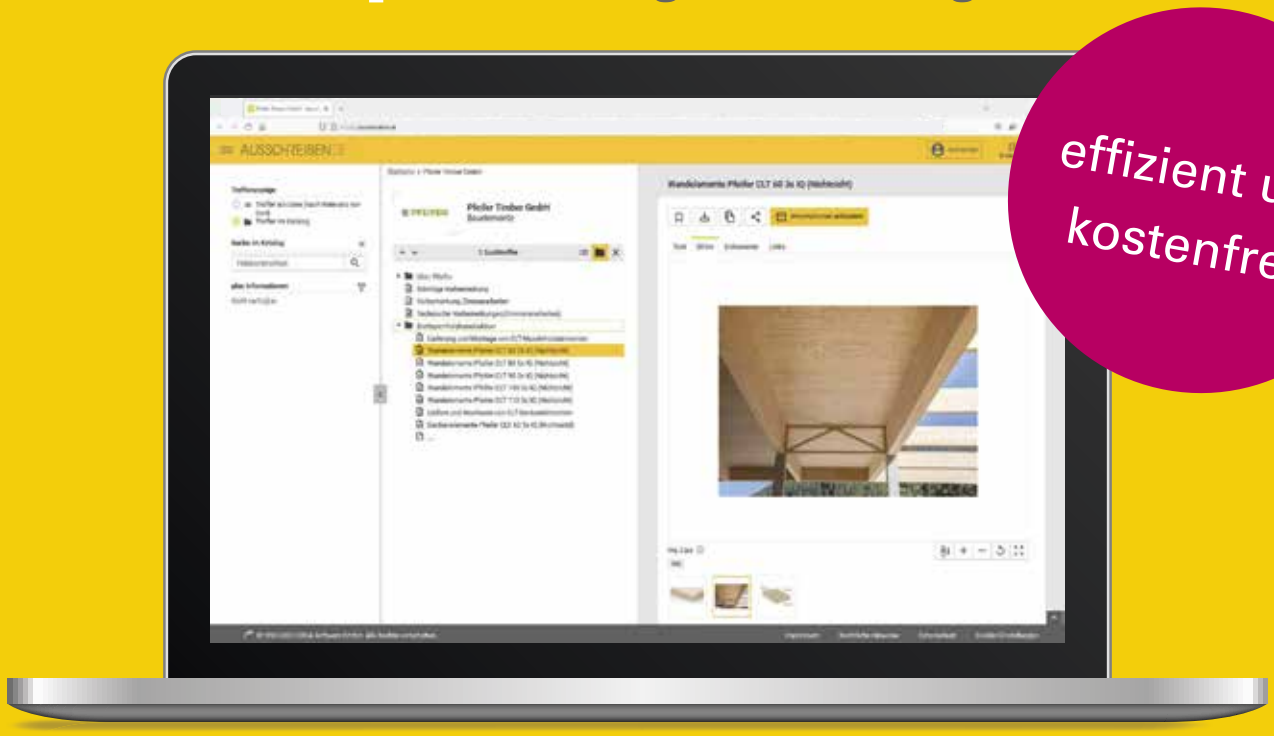
Die wirtschaftlichste Lösung für Ihre Holzbearbeitung

- Hohe Lieferqualität. Das richtige Werkzeug in gewünschter Qualität – weltweit bewährte CNC - Abbundwerkzeuge
- Individuelle Lösungen nach Ihrem Bedarf
- Minimaler Schnittdruck für höchste Wirtschaftlichkeit in der Holzbearbeitung mit Wendeschneidentechnologie
- Höchste Präzision stabiler und masshaltiger Schnitt

www.oertli.com

AUSSCHREIBEN.DE
Ausschreibungstexte**plus**

Ein **plus** an Digitalisierung!



Nutzen Sie **1,1 Mio. Ausschreibungstexte**
und **über 3 Mio. plusInformationen.**

Bauproduktdaten finden, wählen, nutzen

Mit **Zusatzinformationen** schneller zum Ziel. Ganz gleich welche Planungsphase.
Neu! Benutzerdefinierte Merkliste erstellen und im gewünschten Format exportieren.



ORCA Software GmbH · Georg-Wiesböck-Ring 9 · 83115 Neubeuern · orca-software.com · info@orca-software.com

LUNAWOOD

Nordisches ThermoWood®



100 % Aus erneuerbaren nordischen Wäldern

0 % Ohne Chemikalien hergestellt

117 kg CO2 eq/m³ CO2-Fußabdruck

5x Kohlenstoff-speicherung

Mit über 20 Jahren Erfahrung verwandeln wir das beste nordische Holz in nachhaltiges ThermoWood®. Entdecken Sie unsere Produkte am **Stand EG027**.

Mehr erfahren
lunawood.com/de
info@lunawood.com



PFEIFER



Brettsperrholz CLT



Brettschichtholz



Massivholzplatten



Projektfoto:
Régis Kamerzin / Sequoia-sa





We connect people,
nature and technology.
For better wood solutions.

pfeifergroup.com

EINFACH ÖKOLOGISCHER BAUEN

PREMIUMBOARD MFP LIVING P5

100 %
FORMALDEHYDFREIE VERLEIMUNG

Konstruktiv trifft konsequent: PremiumBoard MFP Living P5 legt die perfekte Grundlage für wohngesundes, ressourcenschonendes Bauen. Besonders nachhaltiger Holzmix und formaldehydfreie Verleimung – in einer Platte, die mit hoher Stabilität und einfacher Verarbeitbarkeit den Herausforderungen im modernen Holzbau locker standhält!

Mehr Infos: pfleiderer.com

MAKE YOUR VISIONS WORK.

WCS

PFLEIDERER

PFLÜGER |t|o|b|
Thermisch optimiertes Bauzubehör

Innovative Bauteile und Dämmstoffe auf Basis von recyceltem und recycelbarem PET. Für ressourcenschonendes, zirkuläres Bauen.



DER GRÜNE DÄMMSTOFF
PETtherm 50

PETtherm 50 ist die erste Lösung für den Dämmstoff-Markt, deren Rohstoffe zu 100% aus recycelbarem PET gewonnen wird. **PETtherm 50** trägt zu einer sinnvollen Nutzung von Plastikabfällen bei und hilft, Energie zu sparen sowie CO_2-Emissionen zu reduzieren. Am Ende des Lebenszyklus kann der Dämmstoff ohne Qualitätsverlust wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden.



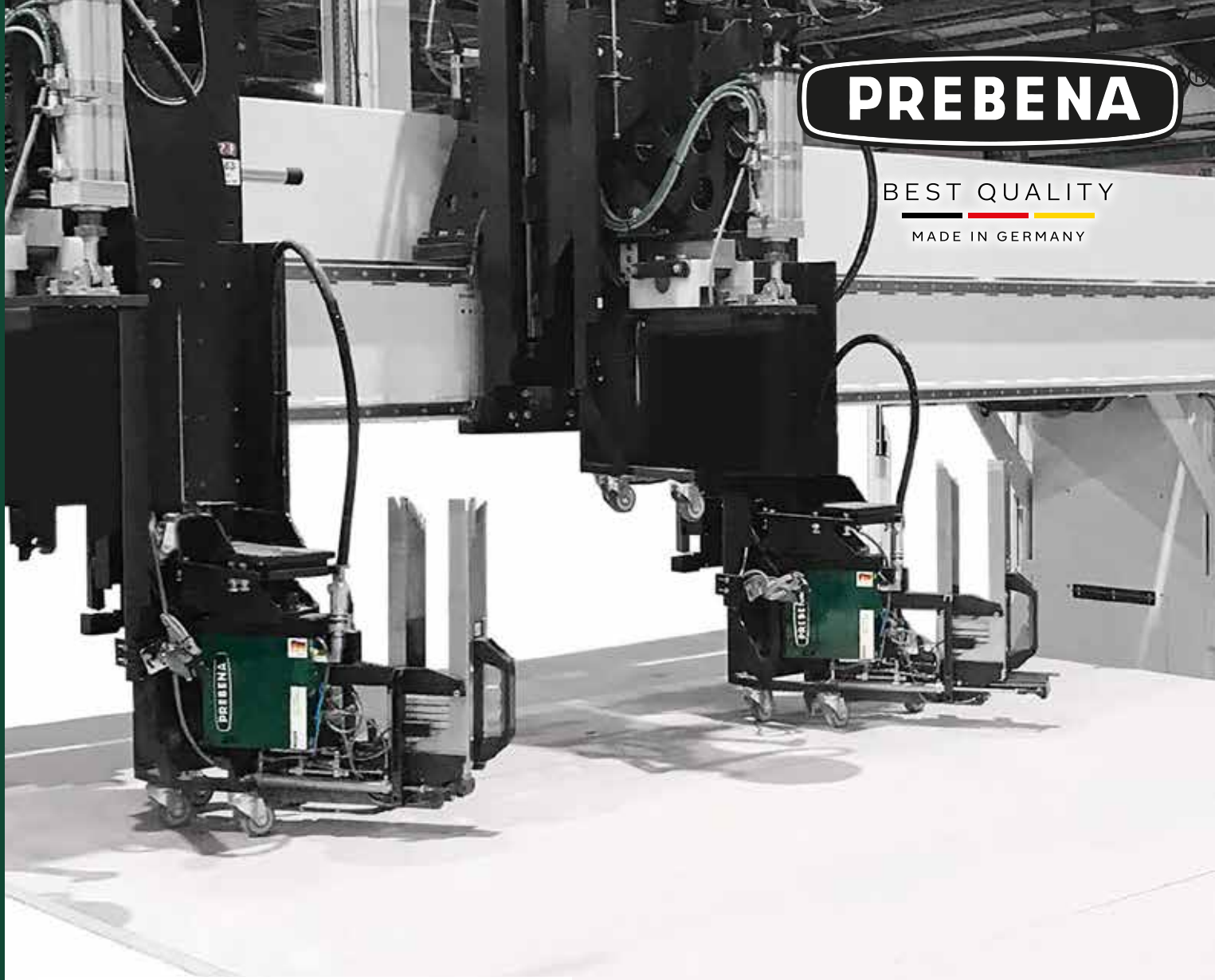
MONTAGE SYSTEM
FDKtherm

Mit dem Montagesystem **FDKtherm**, der wärmebrückenoptimierten Schnittstelle zwischen Gebäude und Bauelement, erhalten Sie ein multifunktionales System zum sicheren und zeitsparenden Einbau von z. B. Fenstern in ein Gebäude – inklusive zweiter wasserführender Ebene.

Der direkte Weg zu unserem Online-Auftritt!

www.pflueger-tob.de

PREBENA.DE



PREBENA

BEST QUALITY

MADE IN GERMANY

PROFESSIONELLE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK

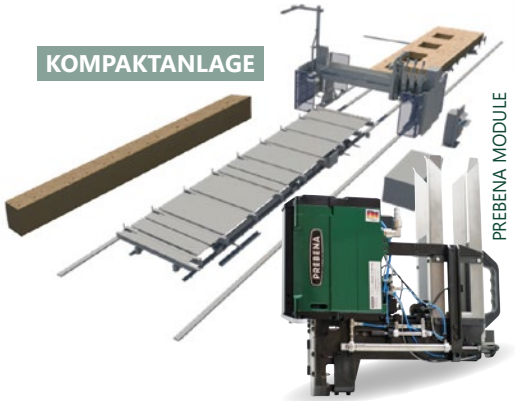
für konstant hohe Qualität im Fertighaus- und Holzrahmenbau



PREBENA SLIDE SYSTEME

SCHMETTERLINGSWENDER

KOMPAKTANLAGE



PREBENA MODULE

Europäische Technische Bewertung für Heftklammern als Holzverbindungsmittel

ETA-16/0101

Heftklammern als zertifiziertes Bauprodukt

+INFORMATION

PREBENA.DE

Verbinden Sie sich mit uns

Prilhofer Consulting

Weltmarktführer für die industrielle Produktion von Gebäuden



- Fabrikplaner mit weitweiter Expertise in verschiedenen Bausystemen
- Maßgeschneiderte Lösungen für die Herstellung aller Gebäudetypen
- Expertise in der Planung automatischer Produktionsanlagen (CAD/CAM)
- Masterplanung für neue Fabriken
- Retrofit und Upgrade von bestehenden Produktionsanlagen
- Unabhängige Beratung und Planung





www.prilhofer.com

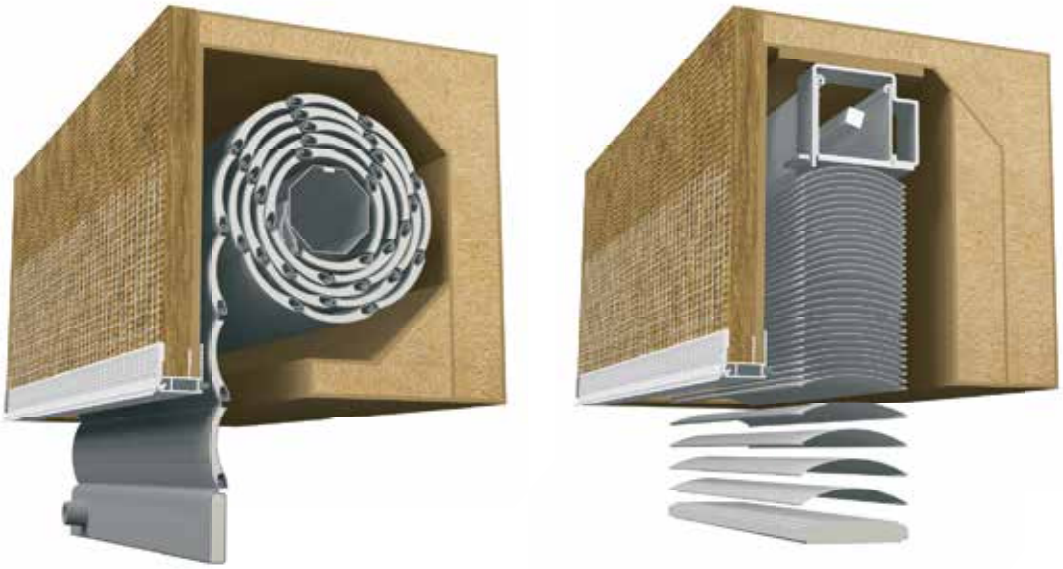
PRIX®
ROLLLADENKÄSTEN



ÖKO LINE

Die nachhaltige Alternative

Rollladen- und Raffstore-kästen speziell für den Holzhausbau entwickelt



- Ökologisch hochwertige Ausführung aus nachwachsenden Rohstoffen
- Stabiles, selbsttragendes Kastensystem
- Hohe Flexibilität des Kastensystems zur einfachen Anpassung an unterschiedliche Wandaufbauten
- Dauerhafter Schutz der Dämmung durch einzigartige Sandwichbauweise
- Hervorragende Wärme- und Schalldämmung
- Statikelemente verfügbar
- Erhältlich als Einbau-, Aufsatz- oder Vorbaukasten

natureplus®
No. 0208-1304-120-1

PRIX Systeme GmbH
Tel. 0 82 45 9 98 90-00
www.prix.de

smartex®
MONITORING-SYSTEMS

intelligently prevent moisture damages...



DETECT LEAKS AN MOISTURE IN REAL TIME

s m a r t e x® monitoring systems monitor your building in real time for leaks and wetness, even where you can't look. Around the clock, day by day. This means that damages are detected at an early stage, before long-term damages can occur.

AUTOMATICALLY LOCATE DAMAGES

If damages occur, s m a r t e x® not only sends an alarm, but also information where the damage occurred. Thus, many damages remain a small bagetelle, because you do not have to search for long to find them.

CARRY OUT TARGETED REPAIRS

Particularly with moisture damages, the earlier you repair, the less consequential damages occur. With smartex® you can repair quickly, which saves trouble and costs. And what doesn't break doesn't need to be repaired. That' s sustainable, too.

PROGEO MONITORING
SYSTEME UND SERVICES
GMBH & CO. KG

HAUPTSTRASSE 2
DE-14979 GROSSBEEREN
PHONE: +49-33701-22-0

PROGEO.COM

PYRUS PANELS

lisocore®

Innenausbau mit dem lisocore® Schiebetürrohling



Hergestellt in Deutschland

lisocore® RECOAT

die Oberfläche zum Bedrucken und Lackieren





leicht - stabil - mobil

Pyrus Panels GmbH • Carl-von-Ossietzky-Str. 17 - 21 • D-83043 Bad Aibling

www.pyrus-panels.com

R-TECH

IHR PARTNER FÜR TRANSPORT UND LAGERUNG



R-TECH Absetzpaletten / Wechselbrücken für Holzfertigteilbau
Optimierung von Transport und Lagerung

R-TECH Vorladetechnik besteht seit mehr als 25 Jahren und entwickelt mit und für unsere europaweiten Kunden in der Holzfertigungsindustrie und Betonfertigteilindustrie. Der Einsatz von R-TECH Transportgestellen bietet große Optimierung in wichtigen Prozessabläufen:

Kapazitätserhöhung
R-TECH Transportgestelle erhöhen die Produktionskapazität:

- Zwischenlagerung in der Produktionshalle ist nicht erforderlich
- Wechselbrücken werden auch als Lager genutzt
- LKW – Transporte können wesentlich effizienter durchgeführt werden, da die Wartezeiten für Be- und Entladung mit Kran entfallen
- Umladen, umschlichten und aufwendige Zwischenmanipulation können vermieden werden.

Sicherheitserhöhung
Das Beladen erfolgt wettergeschützt in der Halle und das Entladen der Transportgestelle erfolgt stressfrei, da

- die Arbeiter ohne Zeitdruck die Ladevorgänge erfüllen können und
- kein LKW warten muss

Dadurch wird das Unfallpotential reduziert!

Kostenoptimierung
Durch kontrollierten Be- und Entladevorgang und nach Bedarf auch durch Verwendung spezieller Sicherheitselemente werden Beschädigungen an den zu transportierenden Bauteilen in sehr großen Umfang reduziert:

- unnötige Folgekosten für Sanierungsarbeiten oder Qualitätsnachlass vermieden
- Die Bauteile nur zweimal manipuliert, einmal von der Produktion auf das Transportgestell und einmal vom Transportgestell auf den Endmontagepunkt
- alle Zwischenmanipulationen geschützt mit den Transportgestellen erfolgen.







Bitte kontaktieren Sie uns:

☎ +43(0)2638/77735
✉ office@r-tech.at
🌐 www.r-tech.at

R-TECH Stahlbauges.m.b.H
Hohe-Wand-Straße 73
A-2732 Willendorf/Strelzhof

LIGNOLOC®
A BECK brand

LIGNOLOC® - DIE ZUKUNFT IN IHREN HÄNDEN

LIGNOLOC®, das erste magazinierte Nagelsystem aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz, bringt Effizienz und Nachhaltigkeit perfekt zusammen. Ideal für alle Holzbauunternehmen, die ihre Projekte leim- und metallfrei umsetzen wollen. Entdecken Sie jetzt unsere ETA-zugelassenen Holznägel und den neuen LIGNOLOC® mit Kopf der Länge 78 mm für Ihr nächstes Holzbauprojekt. Erfahren Sie mehr unter: https://www.beck-fastening.com/de/innovation/lignoloc

JETZT
mit ETA für alle Sorten



GERMAN INNOVATION AWARD '22 GOLD

BECK
Beyond Fastening

RAIMUND BECK KG
T +43 7724 2111 0
www.beck-fastening.com

LIGNOLOC® ist eine eingetragene Marke der RAIMUND BECK GMBH

DAS DACH ALS ERLEBNISRAUM

DARUNTER RUHE.





REGUPOL sound and drain 22

Trittschalldämmung Außenfläche

Messergebnis:

$L_{n,w}$ ($C_{I,50\text{-}2500}$) = 41 (+3) dB

CERTIFIED cradle to cradle BRONZE

akustik@regupol.de | www.regupol.de

REGUPOL

REICHENBACHER

zielsichere
Holzbearbeitung!







Spitzentechnik
für Handwerk
und Industrie



CNC-Technologie in Bestform

HAMUEL
REICHENBACHER
Unternehmen der **SCHERDEL***Gruppe*

Reichenbacher Hamuel GmbH
Rosenauer Straße 32 · D-96487 Dörfles-Esbach
Telefon +49 9561 599-0 · info@reichenbacher.de

www.reichenbacher.de

remmers

Beschichtungs-systeme für die Holzindustrie/ modulares Bauen? Machen wir!

Innenbeschichtung mit Remmers
HoHo Holz-Hybrid-Hochhaus, Wien



Überzeugen Sie sich selbst und besuchen Sie uns vom 29. November – 01. Dezember 2023 auf dem Forum Holzbau International im Erdgeschoss auf dem Stand Nr. EG 018.

Sie können sich bei Ihrem Projekt ganz auf uns verlassen!

Ökologisch und Nachhaltig.
Remmers – Ihr Partner für die Holzindustrie und modulares Bauen.

www.remmers.com

Holzbau – einfach sicher abgedichtet mit Resitrix®



RESITRIX®

DAS EPDM-MULTITALENT FÜR JEDES DACH

- Nur eine Lage – nachhaltig dicht!
- Verlegung ohne offene Flamme
- Dauerhaft elastisch und flexibel
- Nutzungsdauer von über 50 Jahren (SKZ-Studie)



Generalimporteur für die Schweiz

RESISWISS®

CARLISLE CM EUROPE

Generalimporteur für Österreich

DAPEK
Vorsprung am Dach

WWW.REX-INDUSTRIE-PRODUKTE.DE

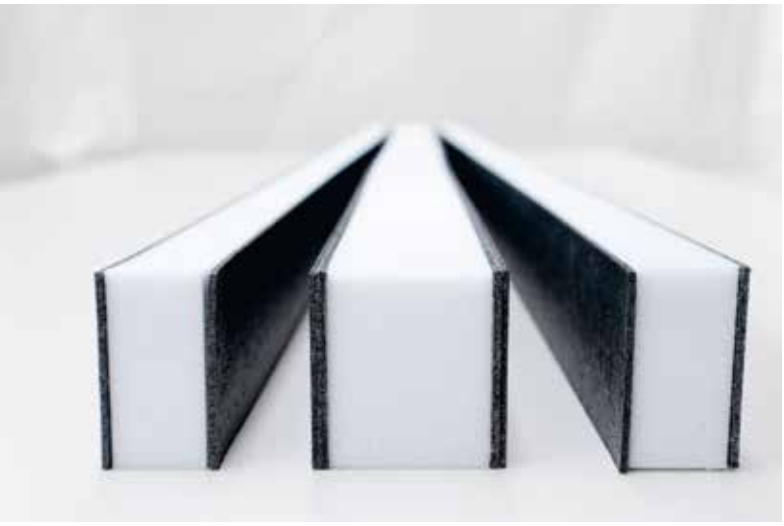
Brandschutz-Fugenfüllsysteme

für Holz- und Hybridbau

Jetzt Broschüre herunterladen



Erfahren Sie mehr in der **Dogana - Stand D54**





REXPANDIT

EI 90 Dehn- & Scherfuge

- Dehn- und Bewegungsfugen von 10 bis 30mm und 20 bis 40mm
- An Wänden und Decken
- Für Holzbau an Holzbau oder Holzbau an Massivbau
- Scherbewegung bis 25mm
- Geprüfter Fugenschallschutz

FLATON-FLEX A

EI 90 Fuge

- Fugenbreite bis 10mm bei Holzbau an Holzbau
- Fugenbreite bis 5mm bei Holzbau an Massivbau
- Fugenbreite bis 5mm bei Decken-Wandanschluss

Gerexte Fugen Brandschutz auf höchstem Niveau


Unser Ziel als Bauingenieure ist es, effiziente Tragsysteme zu entwickeln, die sowohl eine optimale Nutzung der Ressourcen ermöglichen als auch durch den Einsatz von Holz CO_2 binden.
sblumer
Stand CF 235
www.sblumer.com







Metallfreies Holz-Holz Verbindungsmittel

- Selbstspannend
- Nachhaltig
- Rückbaubar



X-fix® GREENETH C

SCHILCHER
Trading & Engineering GmbH
X-fix HOLZ-HOLZ Verbindungssysteme
T +43 676 3512090
office@x-fix.at

www.x-fix.at

schmid
schrauben hainfeld



Foto: © Idaho Central Credit Union Arena - SCB



RAPID® T-Lift

1,3 t & 2,5 t Hebesystem

Was wir verbinden hält.
www.schrauben.at

ETA-12/0373

Schmid Schrauben Hainfeld GmbH | Landstal 10 | 3170 Hainfeld | T +43 (0)2764 2652 | F +43 (0)2764 7712 | E info@schrauben.at

SEMA SOFTWARE

WGsystem



3D CAD/CAM

Die SEMA-Softwarelösung für Planung, Konstruktion und Fertigung im Holz- und Treppenbau sowie dem blechverarbeitenden Gewerbe.

ALLES INTEGRIERT

- Direkte Verarbeitung von 3D-Punktwolken aus 3D-Laserscanner
- Digitale Projektierung mit vielfältigen Auswertungsmöglichkeiten
- Arbeitsvorbereitung und Werkplanung
- Manuelle und maschinelle CNC-Fertigung
- BIM/IFC für den intelligenten 3D-Datenaustausch
- WGsystem-Lösung zur Büroorganisation, Auftragsabwicklung sowie Kalkulation



Tel. +49 (0)8304 939 0

softbauware

WIR LEBEN ERP



erp now

ERP-Komplettsystem für die Fertighausindustrie

- Top-Referenzen in der Branche
- Integrierte Projektplanung
- Digitale revisionssichere Bauakte
- Integrierte Montageplanung
- Integriertes CRM

www.softbauware.de

SOLARLUX

Glasfassaden als Beitrag zum konstruktiven Holzschutz

Nachhaltige Konzepte für Neubau und Sanierung

Ob zum Schutz der Holzfassade vor Witterungseinflüssen, zusätzlicher Wärmeschutz für eine energieeffiziente Gebäudehülle oder zum Schallschutz in städtischen Neubauten – die Proline T ist der neue Allrounder für eine flexible Fassadenverglasung.



Fassadenkonzepte · Schiebefenster · Glas-Faltwände · Terrassendächer · Wintergärten

solarlux.com

SOLTECH S.R.L.

TECHNICAL SOLUTIONS FOR TIMBER CONSTRUCTIONS



Rely on Soltech's 4.0 craftsmanship

Standard metallic solutions

Taylor-made metallic solutions

Innovations

AIRTECH
Inspectionable curb system

Machines

www.soltechonline.com
www.cordoloventilato.it

info@soltechonline.com

Via Mengaroni 5/7
Montelabbate (PU), Italy



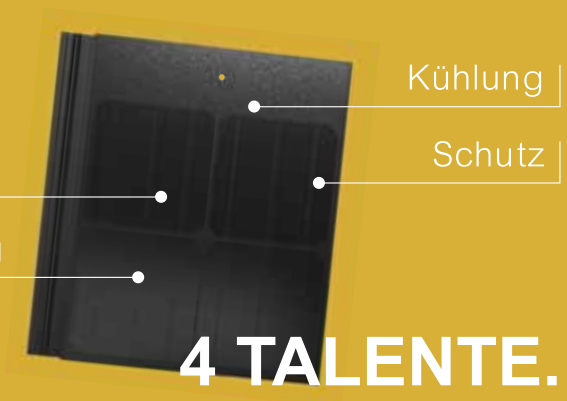
TRANS FORMING ROOFS

IHR DACH IST **GOLD** WERT.

SOLTEQ-DÄCHER SIND ZUKUNFTSDÄCHER.

Dächer die heizen und Strom erzeugen.

Gemeinsam übernehmen wir eine wichtige Aufgabe, um die Energiewende umzusetzen. Nutzen Sie diese Chance, um in ein neues Geschäftsfeld einzusteigen und ermöglichen Sie Ihren Kunden mit einem SolteQ-Dach energetische Freiheit und Unabhängigkeit.



4 TALENTE. 1 DACH.

DIE VORTEILE

- Frostsicheres Quarzglas
- Optimale Kühlung durch perfekte Hinterlüftung = höherer Energieertrag durch Kühlung der Zellen
- Resistent gegen Moos und Flechte durch rahmenloses System
- Sturm- und hagelfester als herkömmliche Dacheindeckungen
- Prismierte Oberfläche für einen samtigen Look mit Anti-Reflex und Selbstreinigungseffekt
- Einzel-Hinterlüftung in jedem Ziegel für Heizung und Kühlung
- Leichtgewicht: ca. 14kg/m^2
- Komplettes Dach ist KfW- und BAFA förderfähig
- Mehrwertsteuer-Entfall

www.solardachziegel.eu

pavatex by SOPREMA

ISOLAIR

PRODUKTFAMILIE

Passgenau für Ihr Projekt: Ökologische Holzfaser-Dämmung für sichere Konstruktionen bei der Sanierung und im Neubau.







Alle Vorteile des ISOLAIR Sortiments finden Sie unter **www.pavatex.de.**

SPERL
WERKZEUGTECHNIK

OFFIZIELLER PARTNER VON AKE



Ihr starker **Werkzeugpartner** für den **Holzbau**

Individuelle & standardisierte Werkzeuglösungen

www.sperl-werkzeugtechnik.at

Sie wollen hoch hinaus?

Da der mehrgeschossige Holzbau in Modul- oder Fertigbauweise stark zunimmt, rücken die Fragen, wie Fassaden der unterschiedlichsten Gebäudeklassen auszuführen sind und wie die hohen Brandschutzanforderungen sicher erfüllt werden, in den Fokus. Als Lösungspartner unterstützen wir Sie dabei, das passende Wärmedämm-Verbundsystem für Ihre Anforderungen zu finden. Erfahren Sie mehr auf **www.stoindustrie.de** und folgen Sie **Sto Industrie** auf **LinkedIn**.

Dämmsysteme
bis GK 5



Fragen Sie Sto Industrie

Jürgen Gümpelein,
einer von mehr als
20 Experten für den
effizienten Holzfertigbau

+49 (0) 77 44 - 57 1300

sto

Bewusst bauen.



INNOVATIVES KOMPLETTSYSTEM
ZUM SCHUTZ DER GEBÄUDEHÜLLE

Die STT GmbH ist seit der Gründung im Jahr 2001 als Produzent, Großhändler und Entwickler im Bereich der Bauwerksabdichtung, sowie für Systemlösungen im konstruktiven Holzbau eines der führenden Unternehmen im Markt.

Als innovatives Unternehmen entwickeln wir gemeinsam mit unseren Kunden, Lieferanten sowie anerkannten Prüfinstitutionen Systemlösungen für die Gebäudehülle mit hohem Nutzwert, nachhaltiger Funktionalität und Qualität. Europaweit werden dabei vom Produktionswerk mit Sitz in Ebersdorf aus der Oststeiermark namhafte Industriebetriebe, Händler sowie Verarbeiter beliefert.

Eine ausgezeichnete Servicebereitschaft, kompetente Beratung und Betreuung durch unsere geschulten Mitarbeiter, der Einsatz von neuesten Produkttechnologien sowie laufende Weiterentwicklungen unserer Produkte sichern unseren Kunden den notwendigen Vorsprung im Markt.



UNSER PRODUKTSORTIMENT

- ✔ DACHBAHNEN
- ✔ FASSADENBAHNEN
- ✔ DAMPFBREMSEN
- ✔ KLEBESYSTEME
- ✔ ZELLULOSEDÄMMUNG

THERMORY®

Thermory vereint Design und Wissenschaft,
Schönheit und Innovation.

Als größter Hersteller von thermisch modifiziertem Holz und Saunamaterialien können wir weltweit auf unzählige Bauprojekte blicken, die mit unseren nachhaltigen sowie langlebigen Produkten verwirklicht wurden.

NEU:
Feuerbeständiges Design-Holz von THERMORY



Foto: Veronika Stuksrud, Wohngebäude in Norwegen Fassade: Thermory Benchmark Thermokiefer Mix & Match

LEAVE A LASTING IMPACT! → thermory.de

Timber Basements

Untergeschosse aus Holz



Stand CF241

CO_2 speichern statt ausstossen - auch im Untergeschoss!

Timbase Untergeschosse aus Holz mit Abdichtung und vollflächigem Feuchtemonitoring

Supported by Staudenschreiner Holzbau GmbH

www.timbase.com

Timbase
Timber Basements



Wir planen die Zukunft in Holz!

We build the future with wood!

timber concept

Concept studies
Machbarkeitsstudien
Design | Engineering
Statik | Tragwerksplanung







3-D Modelling
Werkplanung | Shop drawings
Assembly drawings | Ausführungsplanung
Projektmanagement |Project management
Procurement & Logistics | Beschaffung & Logistik





www.timberconcept.de



In Beton denken, mit Holz bauen

TS3 eröffnet neue Dimensionen für den Holzbau

Standnummer
EG017

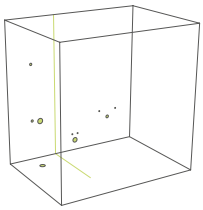
www.ts3.biz

TS3
Timber Structures 3.0

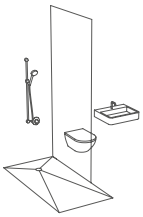
Tjiko

BESUCHEN SIE UNS
VOR DEM HAUPTEINGANG!

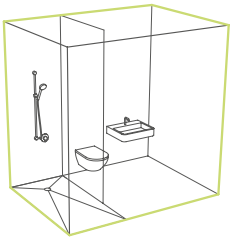
MODERNE BÄDER FÜR HÖCHSTEN QUALITÄTSANSPRUCH



Modell



Konfiguration



Dein Tjiko Bad

JETZT
KONFIGURIEREN!

Bei Tjiko kommt alles aus einer Hand. Von der Planung und Entwicklung der Badmodule über die Produktion, bis hin zum Qualitätsmanagement schnürt das Unternehmen ein Rundum-sorglos-Paket. Geliefert wird zum vereinbarten Festpreis ohne versteckte Zusatzkosten. Tjiko-Bad ist ein fertig anwendbares, zu 100% mängelfreies Produkt, dass allen Prozessbeteiligten in der Wertschöpfungskette des Bauens, als auch den späteren Nutzern und Nutzerinnern ein hohes Maß an Sicherheit, Qualität und Komfort verspricht. Im Vergleich zur konventionellen Bauweise sorgt die industrielle Vorfertigung für einen effizienten Bauablauf. Der innovative und zuverlässige Prozess sorgt neben Planungs- und Kostensicherheit für maximale Effizienz und Qualität, denn alle Beteiligten profitieren von einer einfachen und schnellen Abwicklung.

BAUPROZESS
+ Schneller und effizienter
+ Skalierbar und termintreu
+ Einfacher und stressfreier
+ Flexibler und nachhaltiger

KOSTEN
+ Günstiger
+ Preisgarantie
+ Kostentransparenz

QUALITÄT
+ Fehlerlos und zuverlässig
+ Langlebig und hochwertig
+ Hygienisch und pflegeleicht
+ Produktion in Deutschland
+ Gewährleistung von 5 Jahren

DESIGN
+ Modern und trendig
+ Clean, zeitlos und schlicht
+ Durchdacht und makellos



Tjiko GmbH | Riedstraße 12 | 83126 Flintsbach am Inn | +49 8034 9087460 | kontakt@tjiko.de | www.tjiko.de

By your side

AN IHRER SEITE VON DER PLANUNG BIS ZUR REALISIERUNG

Für Neubau und Sanierung ist Tremco CPG Ihr Gesamtanbieter innovativer Lösungen für alle Seiten Ihres Projektes.

Wir unterstützen auch im Holz- und Modulbau.



- **ABDICHTEN & KLEBEN**
- **PASSIVER BRANDSCHUTZ**
- **BODENBESCHICHTUNG**

Mehr auf www.tremcocpg.eu

Sillbruck Flowcrete Nullifire Vandex TREMCO Dryvit Nudura

TREMCO
Construction Products Group



IHR AUFSTIEG –
UNSERE LEIDENSCHAFT





TREPPENBAU.CH

Neckertalstrasse 27 | CH-9608 Ganterschwil
Tel. +41 71 932 50 60 | **www.treppenbau.ch**



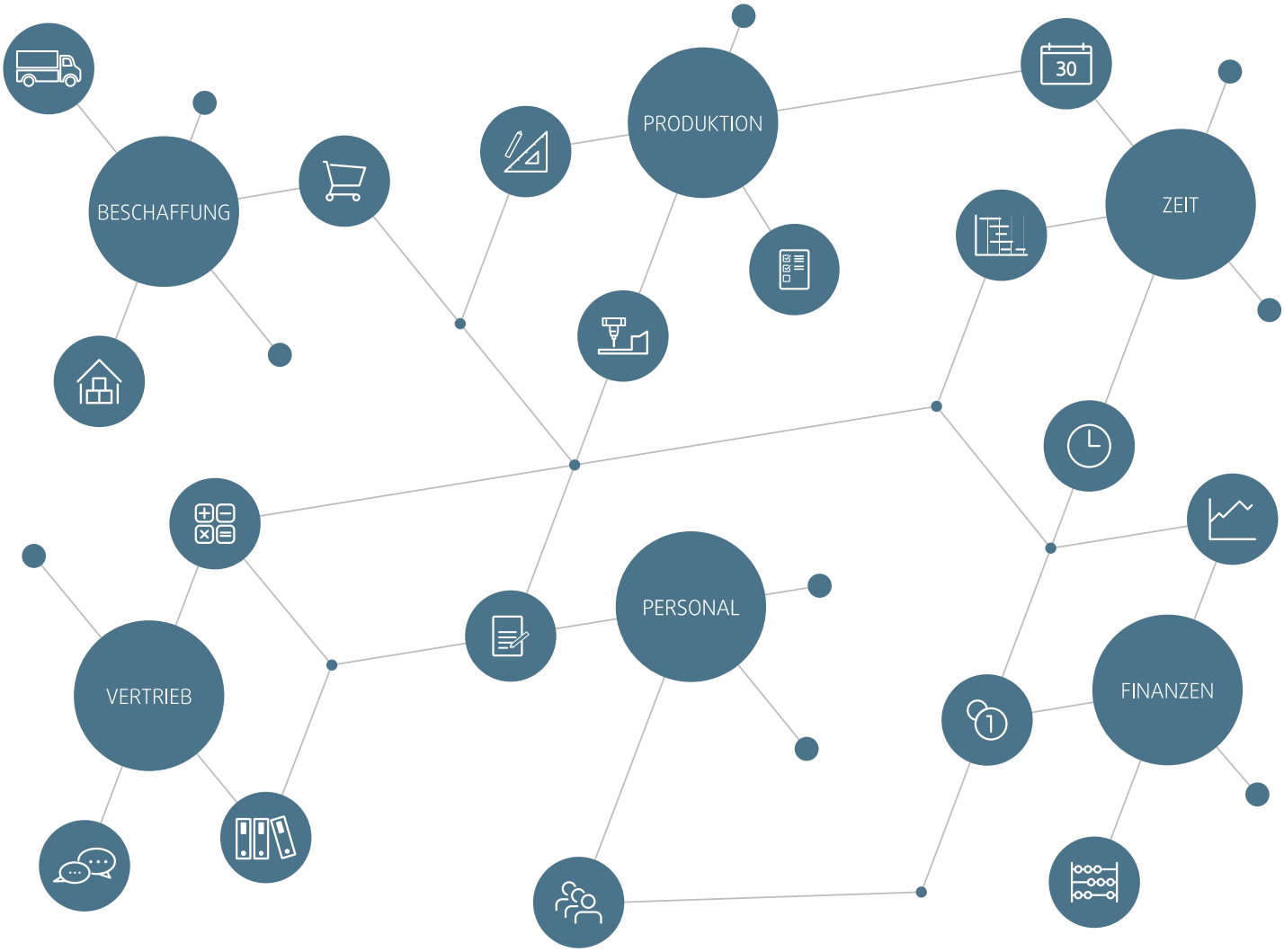


triviso® erp

Triviso ERP als Herzstück der Datenwelt.

Mit Triviso ERP konzentrieren Sie sich auf Ihr Kerngeschäft. Die Software unterstützt Sie zuverlässig in der Datenverarbeitung und vereint Bereiche wie Beschaffung, Produktion, Zeit, Vertrieb, Personal und Finanzen.

Wie sich Ihre Arbeitsabläufe durch unser ERP vereinfachen lassen, zeigen wir gerne anhand einer unverbindlichen Präsentation. Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme.



Triviso AG | Hauptbahnhofstrasse 8 | 4500 Solothurn | info@triviso.ch | www.triviso.ch

Digitale Einsatzpläne
für Fertigung & Produktion



Speziell für Holzbaufirmen mit Teile- und/oder Elementproduktion

Aufträge mit drag&drop "auf der Linie" auf Maschinen/Roboter oder Arbeitsstationen einplanen

dynamische Belegung der Arbeitsstationen und dadurch Erhöhung des Outputs

Aufträge in Verzug werden rot markiert und mit wenigen Klicks optimiert

einfach & intuitiv

Vanillaplan®

kostenlos testen



Visuelle Bedienung:
durch Farben, Icons, Bilder und drag & drop

Ressourcenverbrauch:
automatische Kontrolle über deine Defizite und Gewinne in jedem Projekt

Durchgehende Lösung:
von Planung über Fertigung, Ausführung/Montage bis Service

Intelligente Verknüpfung:
effektivere Einsatzplanung durch die Abstimmung auf deine Betriebsauslastung

Keine Insellösung:
Datentransfer zu jedem IT-System mit unserer Schnittstellenplattform Vanillaplan Fair

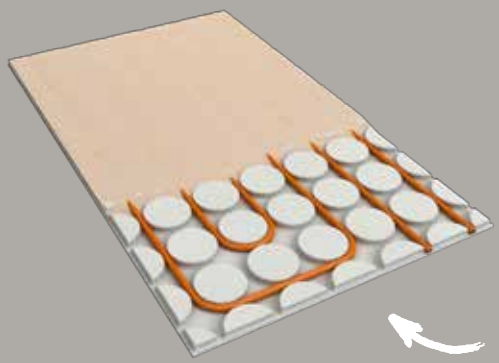
vanillaplan.ch
+41 61 263 23 32

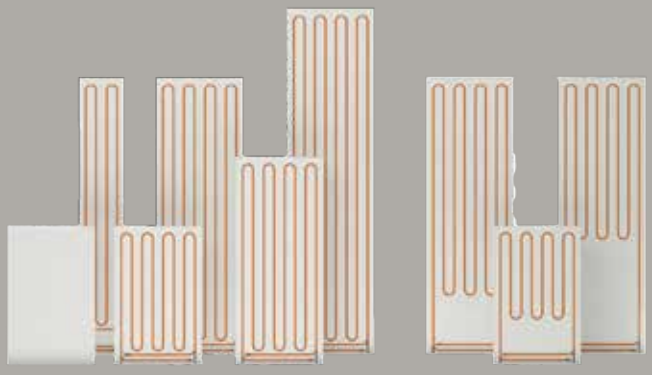


HEIZEN UND KÜHLEN MIT VARIOTHERM

Flächenheizsysteme für Boden | Wand | Decke

- Optimal in der Sanierung, im Holzbau und bei Fertighäusern
- Spart bis zu 25% Energiekosten
- Individuelle Plattenformate für vielseitige Verlegelösungen





Die superschlanke Fußbodenheizung
im Trockenbau - mit **nur 20 mm Aufbauhöhe!**

www.variotherm.com



Was, wenn jeder Duschtraum erfüllt werden kann ...

- Wasserdicht im Gesamtsystem
- Große Vielfalt in Design und Funktion
- Hohe Systemsicherheit
- Individuell anpassbar
- Werkseitig integriertes Gefälle
- Verarbeiter spart Zeit und Geld
- Geprüft und zugelassen
- Individuell anpassbar auf Fliesenstärken
- Sehr geringes Eigengewicht
- Sonderanfertigungen möglich
- Barrierefrei und rollstuhlbelastbar

Wirtschaftlich, sicher und barrierefrei.
wedi Fundo Duschsysteme.

...wedi®



MEHR PRÄZISION FÜR MAXIMALE MATERIALAUSBEUTE.

WEINIG BIETET MEHR.

Holz ist kostbar und zeitweise schlecht verfügbar. Ein sparsamer Umgang mit dem Werkstoff ist deshalb von entscheidender Bedeutung. Unsere digitalen Maschinen- und Softwarelösungen ermöglichen Ihnen eine präzise Verarbeitung und beste Materialausbeute. Durch umfassende Beratung und LifeTime Services stellen wir sicher, dass Ihre Produktion langfristig effizient läuft.

Mehr dazu auf weinig.com

WEINIG

KEINE NEWS MEHR VERPASSEN!

Neue Normen, Branchennews oder wichtige Veranstaltungen.

Newsletter
mikado-online.de/newsletter

Facebook
facebook.com/dieholzbauseite



WEKA FACHMEDIEN

WIEHAG

TIMBER CONSTRUCTION

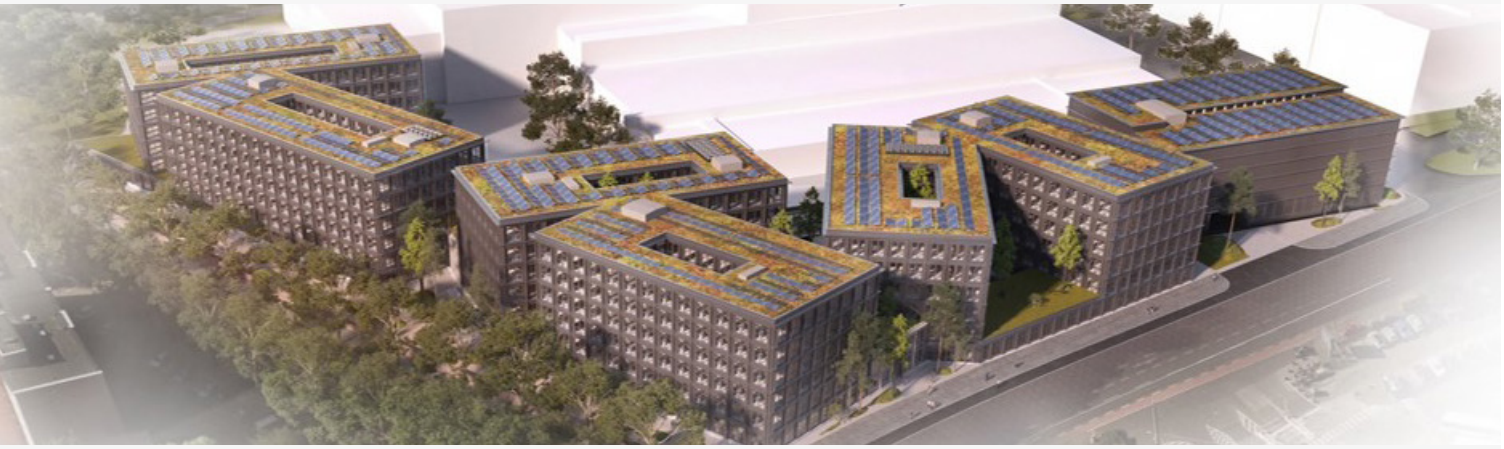


30.11.2023 - 12.00h

EDEKA's NEUES ZENTRALLAGER
AUS HOLZ



Johannes Lederbauer
WIEHAG



29.11.2023 - 11.30h

NEUE WEGE DER PROJEKTZUSAMMENARBEIT
VON DER PROJEKTENTWICKLUNG ZUR UMSETZUNG

FORUM HOLZBAU INTERNATIONAL
29. November - 1. Dezember 2023



Johannes Lederbauer
WIEHAG



Stefan Höher
BAUWENS



HOLZ TRIFFT BETON

wilma

Das innovative Schweizer Holz Beton Verbundsystem. Eine starke Verbindung.

- **keine Feuchtigkeit und Austrocknungszeiten**
  durch komplette Trockenbauweise
- **kurze Bauzeit und grosser Zeitgewinn**
  durch Vorfertigung der Betonelemente und sehr effizienter Bauweise
- **vielfältiges Einsatzgebiet**
  durch leichte Konstruktion ideal für Aufstockungen im urbanen Gebiet
- **tiefere Rohmaterialkosten**
  durch hohe Materialeffizienz bis 70% weniger Holzanteil
- **Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschafts**
  durch hohe Materialeffizienz, RC-Betonelemente und einfache Materialtrennung
- **thermische Speichermasse (warm & kalt)**
  durch Abstrahlung bei offener Rippenkonstruktion
- **Statik, Brand- und Schallschutz mit einer Schicht gelöst**
  SIA-Anforderungen werden übertroffen

eco 2 ecobau Cert.

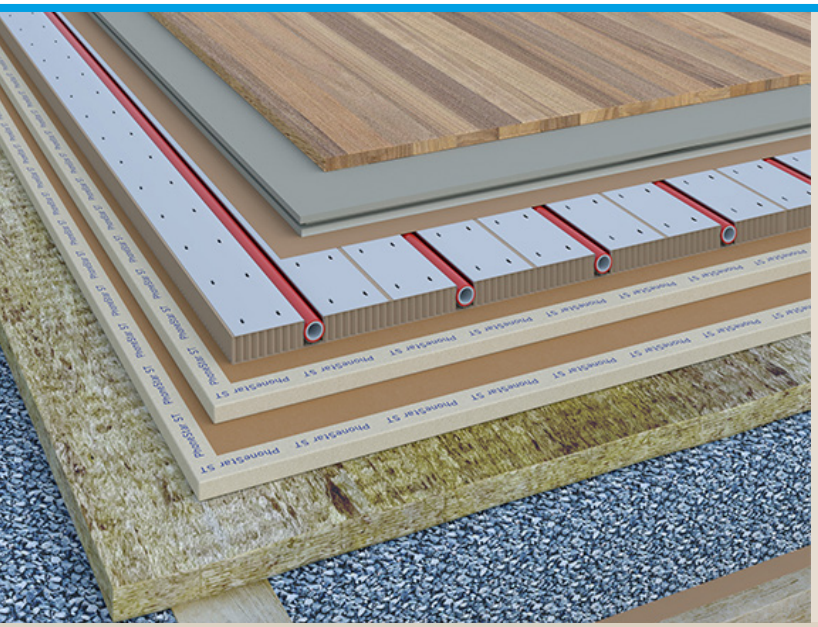
wilma.swiss

Wilma Vertrieb AG
Industriestrasse 3
4704-CH Niederbipp
Telefon +41 58 470 69 96
info@wilmavertrieb.ch

Folge uns!

WOLF® Bavaria

SCHALLDÄMMUNG FLÄCHENHEIZUNG TROCKENESTRICH



PhoneStar Schalldämmplatten

PowerFloor Fußbodenheizung

PhoneStrip Entkopplungsstreifen

Spezialprodukte Messtechnik

TROCKENE SYSTEMLÖSUNGEN

für Boden, Wand und Decke - bei Neubau (Massiv / Holz) und Sanierung

Serielles Bauen ohne Kompromisse

DIE „ONE-BLOCK“ und „ONE-BLOCK CLT“ Wohnungstrennwand

- ✓ höchst schalldämmend
- ✓ stapelbar
- ✓ Werksmontage möglich
- ✓ ausgezeichnet
- ✓ rückbaubar







✓ innovativ ✓ ökologisch ✓ regional

Wolf Bavaria GmbH - ist seit 2004 ein erfolgreiches, innovatives und expandierendes Unternehmen welches Systemlösungen für den Holz- , Massiv- und Trockenbau anbietet.
Der Gedanke eines nachhaltigen, kontinuierlichen Wertstoffkreislaufs zurück zum Ursprung ist in unserer Firmenphilosophie tief verankert und bestimmt unser Handeln auf allen Ebenen. Dabei bildet die Verwendung von nachhaltigen Rohstoffen regionaler Herkunft sowie die Entwicklung rückbaubarer Systeme die Grundlage all unserer Aktivitäten.

Wolf Bavaria GmbH
Gutenbergstraße 8
91560 Heilsbronn
Germany

Kontakt
Tel.: +49 (0) 9872 953 98 0
Fax: +49 (0) 9872 953 98 - 11
Email: info@wolf-bavaria.com

www.wolf-bavaria.com


XLAM
DOLOMITI
THE WOOD BUILDING R-EVOLUTION
XLAM DOLOMITI SPA
is the perfect interlocutor
for customers in need
of technical support,
design, building components
supply and the construction
of wooden buildings.
xlamdolomiti.it

Logistik und Automatisierung für den Holzbau













Big Changes Made Easy

www.xvise.com

ZÜBLIN Timber
Industriestr. 2
86551 Aichach
Tel. +49 8251 908-0
timber@zueblin.de



Holzhochhaus CARL, Pforzheim
© Peter W. Schmidt Architekten GmbH

Ihr Spezialist im Holzbau

ZÜBLIN Timber steht für anspruchsvolle und zukunftsweisende Lösungen in allen Bereichen des Holzbaus. Aus einer Hand bieten wir die Entwicklung, Produktion, Lieferung und Ausführung hochwertiger Holzbausysteme – von der Bauteillieferung über den komplexen Ingenieurholzbau und Fassadenbau bis hin zur schlüsselfertigen Bauausführung. Gemeinsam mit unseren Kund:innen gestalten wir effiziente Lösungen und nachhaltige Lebensqualität.

www.zueblin-timber.com



BUGA Areal, Spinelli Mannheim
© Dirk Altenkirch

Vertrieb FORUM **HOLZBAU**
Bahnhofplatz 1, 2502 Biel/Bienne, Schweiz
T +41 32 327 20 00
info@forum-holzbau.com
www.forum-holzbau.com

ISBN 978-3-906226-59-0